

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS
PARA RIEGO DE ZONAS VERDES CERCANAS AL AUDITORIO Y BLOQUE
ACADEMICO EN LA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA SECCIONAL
GIRARDOT**

BRYAN ALEXANDER BAUTISTA GÓMEZ

CÓDIGO: 363213126

LEIDY DANIELA SUAZA RAMIREZ

CÓDIGO: 363213185

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

SECCIONAL GIRARDOT

INGENIERÍA AMBIENTAL

2018

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS
PARA RIEGO DE ZONAS VERDES CERCANAS AL AUDITORIO Y BLOQUE
ACADEMICO EN LA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA SECCIONAL
GIRARDOT**

BRYAN ALEXANDER BAUTISTA GÓMEZ

CÓDIGO: 363213126

LEIDY DANIELA SUAZA RAMIREZ

CÓDIGO: 363213185

**Trabajo de grado en la modalidad investigación para optar al título de Ingeniero
Ambiental**

Dirigido por:

DIANA CAROLINA VEGA ROMERO

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
SECCIONAL GIRARDOT
INGENIERÍA AMBIENTAL**

2018

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Jurado

Girardot, 20 de junio de 2018

DEDICATORIA

Con todo amor y cariño a mis padres Alex y Mirllely, a mis hermanos Leidy y Johan que siempre creyeron en mí, me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica de mi proceso de formación; también a Geraldine y Jordín por ser motivos de progreso en mi vida.

Bryan A. Bautista G.

Con mucho cariño a mi familia que han sido el motor para dar cada paso, en especial a mis padres por su esfuerzo, dedicación y confianza que han depositado en mí.

Daniela Suaza R.

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente a Dios padre quien nos hizo más valientes en cada una de las situaciones presentadas, a Diana Carolina nuestra directora por su compromiso y apoyo en nuestras debilidades y fortalezas en nuestro proceso de formación, a nuestros compañeros de aula, y en especial a nuestro amigo incondicional Jeffryn Montaña.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| DEDICATORIA | IV |
| AGRADECIMIENTOS | V |
| RESUMEN EJECUTIVO | XIII |
| ABSTRACT | XIV |
| INTRODUCCIÓN | 15 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 17 |
| 2. OBJETIVOS | 19 |
| 2.1 Objetivo General | 19 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 19 |
| 3. MARCO REFERENCIAL | 20 |
| 3.1 Antecedentes | 20 |
| 4. MARCO TEÓRICO | 22 |
| 4.1 Generalidades del sistema. | 22 |
| 4.2 Marco Conceptual | 40 |
| 4.3 Marco Legal | 42 |
| 5. DISEÑO METODOLÓGICO | 45 |
| 5.1 Ubicación geográfica | 45 |
| 5.2 Características climáticas del área del proyecto | 48 |
| 5.2.1 Pisos térmicos. | 48 |
| 5.2.2 Temperatura. | 49 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.2.3 | Humedad Relativa. | 49 |
| 5.2.4 | Precipitación. | 49 |
| 5.2.5 | Brillo y Radiación Solar. | 50 |
| 5.2.6 | Evaporación. | 50 |
| 5.2.7 | Topografía del área de estudio. | 50 |
| 5.3 | Materiales y métodos | 51 |
| 5.3.1 | Adquisición de datos primarios. | 51 |
| 5.3.2 | Análisis de oferta y demanda. | 52 |
| 5.3.3 | Diseño de sistema de recolección y distribución. | 53 |
| 5.3.4 | Determinación de áreas de drenaje o captación. | 54 |
| 6. | RESULTADOS Y DISCUSIONES | 55 |
| 6.1 | Análisis de la estructura recolectora | 55 |
| 6.2 | Periodo de retorno de diseño | 56 |
| 6.3 | Caudal de diseño | 57 |
| 6.3.1 | Coefficiente de escorrentía. | 57 |
| 6.4 | Curvas de intensidad-duración-frecuencia | 59 |
| 6.4.1 | Intensidad de precipitación. | 61 |
| 6.4.2 | Tiempo de concentración. | 62 |
| 6.5 | Modelamiento hidráulico | 66 |
| 6.5.1 | Hidrometeorológica. | 67 |
| 6.5.2 | Precipitación. | 68 |
| 6.6 | Metodología de cálculo. | 68 |
| 6.6.1 | Lluvia De Diseño. | 68 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 6.6.2 | Curva de intensidad-duración-frecuencia. | 69 |
| 6.6.3 | Cálculos variables probabilísticas. | 73 |
| 6.6.4 | Regresiones I.D.T. | 79 |
| 6.6.5 | Curvas I.D.F. | 94 |
| 6.7 | Caudal de diseño | 95 |
| 6.8 | Método racional | 96 |
| 6.9 | Definición de áreas de captación | 96 |
| 6.10 | Definición de conducciones | 98 |
| 6.10.1 | Canaletas y bajantes. | 98 |
| 6.10.2 | Cajas de inspección y colectores. | 104 |
| 6.11 | Almacenamiento | 105 |
| 6.11.1 | Dimensionamiento de volumen del Tanque. | 106 |
| 6.12 | Uso del agua | 107 |
| 6.13 | Diseño de impulsión | 108 |
| 6.14 | Análisis costo- beneficio | 114 |
| 7. | CONCLUSIONES | 123 |
| 8. | RECOMENDACIONES | 125 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 126 |

LISTA DE CUADROS

| | Pág. |
|--|------|
| Cuadro 1. Tabla D.4.9 Mínimo requerimiento para la fuente de obtención de curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) | 28 |
| Cuadro 2. Tabla D.4.1 Períodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema. | 30 |
| Cuadro 3. Tabla D.4.2 Grado de protección según el nivel de complejidad del sistema. | 31 |
| Cuadro 4. Tabla D.4.8 Factor de reducción de la intensidad media de precipitación para diferentes áreas de drenaje. | 32 |
| Cuadro 5. Tabla D.4.7 Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad. | 33 |
| Cuadro 6. Tabla D.4.11. Coeficiente de retardo. | 35 |
| Cuadro 7. Tabla D.4.10 Constante a de velocidad superficial | 36 |
| Cuadro 8. Estación del sector. | 48 |
| Cuadro 9. Tabla D.4.2 Grado de protección según el nivel de complejidad del sistema | 56 |
| Cuadro 10. Tabla D.4.7 Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad | 58 |
| Cuadro 11. Tabla D.4.9 Curvas I.D.F. | 61 |
| Cuadro 12. Tabla D.4.8 Factor de reducción | 62 |
| Cuadro 13. Tabla D.4.11 Coeficiente de retardo | 63 |
| Cuadro 14. Tabla D.4.10 Constante a de velocidad superficial | 64 |
| Cuadro 15. Registros mensuales de precipitación max. en 24 horas. | 70 |
| Cuadro 16. Precipitación máxima probable: Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel | 72 |

| | |
|---|----|
| Para calcular las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias, se desarrollan las siguientes ecuaciones: | 75 |
| Cuadro 17. Cálculo de las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias. | 75 |
| Cuadro 18. Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas. | 76 |
| Cuadro 19. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias | 77 |
| Cuadro 20. Intensidades de lluvia a partir de Pd, según Duración de precipitación y Frecuencia. | 78 |
| Cuadro 21. Regresión IDT para un T de 2 años. | 80 |
| Cuadro 22. Serie T= 2 años. | 80 |
| Cuadro 23. Regresión IDT para un T de 5 años. | 81 |
| Cuadro 24. Serie T= 5 años. | 82 |
| Cuadro 25. Regresión IDT para un T de 10 años. | 83 |
| Cuadro 26. Serie T= 10 años. | 84 |
| Cuadro 27. Regresión IDT para un T de 25 años. | 85 |
| Cuadro 28. Serie T= 25 años. | 85 |
| Cuadro 29. Regresión IDT para un T de 50 años. | 87 |
| Cuadro 30. Serie T=50 años. | 87 |
| Cuadro 31. Regresión IDT para un T de 100 años. | 88 |
| Cuadro 32. Serie T= 100 años. | 89 |
| Cuadro 33. Regresión IDT para un T de 500 años. | 90 |
| Cuadro 34. Serie T= 500 años. | 91 |
| Cuadro 35. Resumen de regresiones. | 92 |

| | |
|---|-----|
| Cuadro 36. Regresión Potencial. | 93 |
| Cuadro 37. Series regresión potencial. | 93 |
| Cuadro 38. Tabla de intensidades y tiempo de duraciones. | 94 |
| Cuadro 39. Relación áreas de techos y cubiertas. | 97 |
| Cuadro 40. Aplicación Método Racional. | 98 |
| Cuadro 41. Estimación diámetro de colectores | 104 |
| Cuadro 42. Determinación áreas de riego | 107 |
| Cuadro 43. Perdida en accesorios | 110 |
| Cuadro 44. Presupuesto de ejecución. | 113 |
| Cuadro 45. Consumo de agua potable período 2015 – 2018. | 115 |
| Cuadro 46. Promedio de consumo multi-mensual, durante los periodos 2015-2016, 2016-2017, 2017-2018. | 117 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Girardot en el país. | 45 |
| Figura 2. Ubicación del municipio de Girardot, en el Departamento de Cundinamarca. | 46 |
| Figura 3. Universidad de ciundinamarca en Girardot. | 47 |
| Figura 4. Ubicación Estación Pluviográfica Pozo Azul. | 66 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | Pág. |
|---|------|
| Gráfica 1. Histograma de Precipitación Mensual Multianual año 2017. Estación Pozo Azul. Fuente propia | 68 |
| Gráfica 2. Regresión T=2 años. | 81 |
| Gráfica 3. Regresión T=5 años. | 83 |
| Gráfica 4. Regresión T=10 años. | 85 |
| Gráfica 5. Regresión T= 25 años. | 86 |
| Gráfica 6. Regresión T= 50 años. | 88 |
| Gráfica 7. Regresión /= 100 años. | 90 |
| Gráfica 8. Regresión T=500 años. | 92 |
| Gráfica 9. Regresión potencial. | 94 |
| Gráfica 10. Curvas IDF del área de influencia. | 95 |
| Gráfica 11. Consumo de agua potable. | 118 |
| Gráfica 12. Porcentaje de oferta y consumo. | 121 |

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente documento se describe el diseño del sistema de aprovechamiento de agua lluvias en la UCundinamarca seccional Girardot, que tiene como objeto el ahorro de agua potable y reducción de costos derivados del consumo de esta en riego de zonas verdes cercanas al bloque académico y auditorio del plantel, fundamentado en el análisis probabilístico de la oferta hídrica en la zona de interés, en la viabilidad técnica y económica de la implementación del sistema. El aprovechamiento de aguas lluvias que se proyecta para riego de las zonas verdes cercanas al auditorio y el bloque educativo de la seccional, mediante una red de distribución, alimentada por el agua captada por los techos de los bloques mencionados anteriormente. El sistema está proyectado con un periodo de retorno de cincuenta años, un área de captación de 1693m^2 correspondientes a los techos de los bloques en mención, de acuerdo con la aplicación del método racional se tiene un caudal de diseño de 16.9 l/s , cuenta con un tanque de 161.47 m^3 y una red de riego de 217.33 metros para irrigar un área total de zonas verdes de 2051 m^2 . Según el presupuesto realizado, el costo de implementación del proyecto es de $\$159'632.731.00$, según la utilidad del proyecto (la oferta y demanda de agua en el plantel mes a mes) el porcentaje de ahorro anual es proporcional a los días de lluvia; con base a esto el porcentaje de ahorro con un día de precipitación en el año es del 11.02% de ahorro anual que compensaría el valor de inversión en la ejecución del proyecto en relación con la utilidad generada por el mismo a largo o mediano plazo dependiendo la frecuencia de lluvias anuales.

ABSTRACT

In the present document there describes the design of the system of water utilization rains in the sectional UCundinamarca Girardot, which takes as an object the saving of drinkable water and reduction of costs derived from the consumption of this one in irrigation of green spaces near to the academic block and audience of the nursery, based on the analysis probabilistic of the water offer in the zone of interest, in the technical and economic viability of the implementation of the system. The water utilization rains that are projected for irrigation of the green spaces near to the audience and the educational block of the sectional one, by means of a distribution network fed by the water caught by the ceilings of the blocks mentioned previously. The system is projected by a return period of fifty years, an area of capture of 1693m² correspondents to the ceilings of the blocks in mention, in agreement with the application of the rational method there is had a flow of design of 16.9 l/s, relies on a tank of 161.47 m³ and one network of irrigation of 217.33 meters to irrigate a total area of green spaces of 2051 m². According to the realized budget, the cost of implementation of the project is of 159 \$ ' 632.731.00, according to the usefulness of the project (the offer and water demand in the nursery month a month) the percentage of annual saving is proportional to the rainy days; with base to this the percentage of saving with a day of rainfall in the year is 11.02 % of annual saving that would compensate the value of investment in the execution of the project in relation with the usefulness generated by the same one to long or medium term depending the frequency of annual rains.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital para el desarrollo de cualquier organismo vivo. En gran cantidad de lugares del mundo, el agua no puede satisfacer las necesidades básicas del ser humano, ya que es un recurso escaso y millones de personas se esfuerzan para conseguirla a diario; nuestro planeta tierra está presentando una serie de crisis por la disponibilidad de agua potable, la contaminación hídrica y el calentamiento global, estos son algunos de los factores responsables del agotamiento de esta. (Greenpeace, 2010). En el mundo 2.500 millones de personas aproximadamente, dependen solo de los recursos de aguas subterráneas para satisfacer estas necesidades (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2012|); y al carecer de este recurso, se cobran la vida de muchas personas por enfermedades gastrointestinales y desnutrición por el consumo de agua contaminada. En términos del caudal específico de escorrentía superficial, Colombia presenta un caudal de 58 l/s/km², tres veces mayor que el promedio sudamericano y seis veces mayor que la oferta hídrica específica promedio a nivel mundial. (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2015. informe nacional sobre la gestión del agua en Colombia).

Basados en este argumento donde se determina la importancia que se debe dar al agua en nuestro país y en nuestra región, se plantea este proyecto con el fin de aprovechar las condiciones meteorológicas presentadas en el municipio de Girardot, ya que por su ubicación geográfica en el valle interandino del río Magdalena y por contar con un ecosistema de bosque seco tropical, presenta dos periodos de lluvia y un periodo marcado de sequía, permitiendo de esta manera que se produzca un aumento en la oferta y demanda de agua en el municipio (Humboldt, Instituto Alexander von, 2014).

Respondiendo a esta necesidad desde el programa de ingeniería ambiental se desarrolla el diseño de un sistema de captación de aguas lluvias para la universidad de Cundinamarca seccional Girardot, en marco del cronograma establecido de investigación como opción de grado de los autores, donde se pretende captar las aguas lluvias por medio de las cubiertas del bloque académico y el auditorio, para usarlo en riego, de manera que disminuya los costos del pago del servicio público de agua potable en el año y aportando a los objetivos de desarrollo sostenible desde el campus universitario, generando así concientización desde la formación académica, de manera que se incentive a los estudiantes a formular otros proyectos que promuevan a la protección y el buen uso de los recursos naturales, fortaleciendo así el compromiso ambiental de la institución y de la ingeniería ambiental.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Estudio Nacional del Agua del 2016 (ENA-2016) realizado por el IDEAM presenta el análisis de la oferta y demanda del recurso hídrico en relación a las áreas hidrográficas para dicho año, y realizan proyecciones pluviométrías indicando que la región del alto magdalena presenta una muy alta vulnerabilidad al desabastecimiento frente a este recurso y una presión crítica sobre los ecosistemas en condiciones hidrológicas medias; de acuerdo a esto, Surge como interrogante si estamos aprovechando responsablemente el agua; así que se realiza una observación del uso de agua potable en el desarrollo de las actividades en las diferentes áreas de la seccional, y se evidencia que el plantel cuenta con amplias zonas verdes, donde se usa el agua potable para regar el ornato, limpiar sus instalaciones, realizar descargas sanitarias y para consumo humano; Además el sistema de recolección de aguas lluvias se encuentra en mal estado, por lo cual, genera salpicaduras en el bloque académico y encharcamiento en sus áreas; por otro lado, el resto de agua que llega al alcantarillado, se mezcla con las aguas sanitarias de la seccional. Por estas razones se prevé que no se está aprovechando lo mejor posible el agua potable, lo cual representa costos para la universidad y se está desperdiciando el agua lluvia.

JUSTIFICACIÓN

La condición de bosque seco tropical dada en la zona de Girardot, se caracteriza por tener precipitaciones entre los 250 y 2000 mm anuales, con dos periodos de lluvia y un periodo marcado de sequía al año (Instituto Von Humboldt, 2014). Así que Girardot cuenta con condiciones que otorgan una oferta o disponibilidad amplia del recurso, y en relación con el área de los techos (áreas de captación); se plantea en la seccional Girardot, un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como una buena opción, para aprovechar de mejor manera este recurso, en el lavado del plantel y en riego de las plantas de ornato, ya que por las amplias zonas verdes con que cuenta la universidad, se genera un alto gasto de agua potable y por ende altas tarifas en los costos generados por el servicio de acueducto del plantel. Por medio de este sistema se pretende suplir la necesidad de riego de las zonas verdes cercanas al auditorio y al bloque académico y posteriormente lograr reducir los costos del consumo de agua potable, siendo necesaria la aplicación de estudios y diseños previos, óptimos ajustados a las características de la región y al uso final del recurso, que generen tecnologías que se apoyen en el desarrollo sostenible y que contribuyan con el uso racional del agua como recurso natural. De tal manera que con este proyecto se busca determinar el beneficio al implementar el sistema de aprovechamiento de agua lluvias, estableciendo porcentualmente el ahorro de agua potable y paralelamente el costo por el consumo de esta.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para uso en riego de las áreas verdes cercanas al auditorio y bloque académico de la Universidad de Cundinamarca seccional Girardot.

2.2 Objetivos Específicos

- ❖ Identificar el estado actual de la estructura de manejo de agua pluvial en todas las instalaciones de la Universidad.

- ❖ Evaluar las posibles alternativas del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias.

- ❖ Analizar el costo-beneficio preliminar generado por el aprovechamiento de las aguas lluvias.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

A continuación, se establece la recopilación de la información sobre el avance en el aprovechamiento de las aguas lluvias en el país, las ventajas y desventajas de un sistema de aprovechamiento, la calidad, los usos y las normas guías para esta práctica, las relaciones oferta-demanda que determinan la viabilidad de los diferentes proyectos, la formulación hidráulica de redes, los requerimientos que hacen parte de este marco que acopia las temáticas más destacadas en el tema.

Giraldo Agudelo, (2016), Realizo un estudio de diseño para el desarrollo del sistema de recolección de aguas lluvias llevado a cabo por los estudiantes del semillero de energías renovables para abastecer con agua lluvia las viviendas eco sostenibles de la fundación de rehabilitación cristiana kirios del municipio de Pereira Risaralda, que consistía en la recolección de aguas lluvia en el tejado de una vivienda que conducía directamente a un tanque de almacenamiento, desde allí se impulsaba el agua con la ayuda de una bomba que funcionaba a base de energía solar. El autor determino por medios estadísticas que el proyecto era viable, por las características hidrológicas de la región.

Castellanos Rincón. García Parra, (2015) Generaron una solución proporcionar a las comunidades un sistema de tratamiento eficiente y económico, que adopten de forma masiva, y

consistió en el aprovechamiento del agua lluvia que captaban los tejados y posteriormente se conducía a un filtro. Como resultado obtuvieron que el agua salía en buenas condiciones, pero sin embargo no era tan eficiente como el tratamiento de una planta de tratamiento de agua potable, por lo tanto, recomendaron que el agua solo se usara para limpieza.

Palacio Castañeda (2010) Realizo una investigación para disposición del agua lluvia, en lavado de zonas comunes y descargas sanitarias " Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia". Para el análisis pluviométrico realizaron cálculos de los volúmenes disponibles de agua lluvia en la zona, la evaluación del volumen de agua potable ahorrado con el aprovechamiento del agua lluvia, la estimación del presupuesto para la construcción del sistema y la proyección del ahorro generado al utilizarlo. Como resultado recomienda que el proyecto es viable ya que la oferta de agua lluvia es alta, pero con altos costos en su implementación.

Estupiñán Perdomo. Zapata García, (2011) Realizaron un proyecto de investigación llamado "los requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad", donde se basaron en metodologías estadísticas para determinar la el caudal de agua lluvia que surtiría al campo universitario, donde obtuvieron como resultado que en la zona de ubicación del proyecto se presentan altos volúmenes de precipitación, pero se las instalaciones físicas del campus universitario no capta el agua suficiente para cubrir la demanda hídrica total, ya que evidenciaron que solo se podía suplir una demanda máxima del 14 % del consumo total.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Generalidades del sistema.

Para el diseño del sistema de captación de aguas lluvias se tiene que identificar los siguientes componentes; Captación, recolección, conducción y almacenamiento según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente , Organización Panamericana de la Salud, dichos procesos funcionan de la siguiente manera:

Captación: Se encuentra conformado por el techo de la edificación, el mismo que deberá contar con pendiente y superficie adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. (Organización Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004)

Conducción: Son las canaletas situadas en las partes más bajas del área de captación que tienen como fin recolectar el agua lluvia y conducirla hacia el interceptor. (Organización Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004)

Para el almacenamiento: Se tiene que realizar una obra destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia necesaria para el consumo diario, en especial durante el período de sequía. La

unidad de almacenamiento debe ser duradera, tener la capacidad de almacenamiento del caudal máximo y cumplir con la legislación colombiana vigente.

El material tejado como sistema de captación también es importante para determinar cálculos hidráulicos, es por esto que a continuación, se mencionan los materiales de teja más comunes para realizar una buena captación:

Tejas de asbesto-cemento: Estas son tal vez las tejas más populares en nuestro país. Son placas de fibrocemento onduladas, son una solución económica para cubiertas y presenta las siguientes ventajas: inalterable, impermeable, económico, resistente y liviana. Esta teja se encuentra en el mercado con distintas especificaciones. Cabe anotar que todas las tejas deben ser impermeables. (Banco de la Republica).

Teja de barro: Es una pieza de este material hecha en forma de canal; usada para cubrir exteriormente los techos y no permitir la entrada de agua de lluvia a un espacio dejándola escurrir.

Teja de plástico: Son cubiertas son composición a partir de policloruro de vinilo, es resistente frente a las diferentes condiciones ambientales y a un periodo largo ante los efectos de la radiación ultravioleta (UV) del sol. Es igualmente resistente a la humedad, lluvia y nieve. no se oxidan o corroen y brindan una resistencia perfecta a largo plazo en los ambientes más corrosivos. (Tejas en pvc, s.f.)

Tejas de metálicas: son un tipo de cubiertas hechas de pedazos de metal o de tejas. Es un componente de la envolvente del edificio. Especificaciones de un techo de metal. Es de peso ligero. Tiene una buena portabilidad. Es más Durable. El techo de metal es extremadamente bajo (de calibre delgado, con pinturas acrílicas o poliéster). (Techos de metal, 2012).

Caracterización hidrológica del lugar:

Para realizar el diseño, es primordial realizar una caracterización hidrológica de la zona donde se va a realizar el estudio y así identificar la oferta de agua durante periodos mensuales y anuales. Esto realiza mediante registros históricos de estaciones de pluviometría que se encuentren cercanas al área de estudio, también es importante tener referencias en cuanto a factores como temperatura, humedad relativa, precipitación, brillo solar y evaporación de la zona de estudio.

Para el lugar a realizar el sistema, se debe definir la precipitación de diseño en términos de la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones a través de funciones de distribución de probabilidad como son:

Caudal de diseño:

Para la estimación del caudal de diseño puede utilizarse el método racional, el cual se utiliza para el diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias de áreas pequeñas,

que consiste en calcular los picos máximos y mínimos en los caudales de aguas lluvias por medio de la intensidad media de la precipitación, el tiempo de concentración de la precipitación en el área de drenaje y el coeficiente de permeabilidad del área en el cual la lluvia entra en contacto. La ecuación del método racional es:

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Q= Caudal pico de aguas lluvias (L/s).

C= Coeficiente de impermeabilidad definido para cada área tributaria (adimensional).

I= Intensidad de precipitación correspondiente al tiempo de concentración utilizado (L/s.ha).

A= Área tributaria de drenaje (ha).

$$Q = 2.78 * C * I * A$$

donde:

Q= Caudal pico de aguas lluvias (L/s).

C= Coeficiente de impermeabilidad definido para cada área tributaria (adimensional).

I= Intensidad de precipitación correspondiente al tiempo de concentración utilizado (mm/h).

A= Área tributaria de drenaje (ha).

De acuerdo con el método racional, el caudal pico ocurre cuando toda el área de drenaje está contribuyendo, y éste es una fracción de la precipitación media bajo las siguientes suposiciones:

- ❖ El caudal pico en cualquier punto es una función directa de la intensidad (i) de la lluvia, durante el tiempo de concentración para ese punto.
- ❖ La frecuencia del caudal pico es la misma que la frecuencia media de la precipitación.
- ❖ El tiempo de concentración está implícito en la determinación de la intensidad media de la lluvia por la relación anotada en el punto 1 anterior.

El método racional es adecuado para áreas de drenaje pequeñas hasta de 700 ha. Cuando son relativamente grandes, puede ser más apropiado estimar los caudales mediante otros modelos lluvia escorrentía que representen mejor los hietogramas de precipitación e hidrogramas de respuesta de las áreas de drenaje y que eventualmente tengan en cuenta la capacidad de amortiguamiento de las ondas dentro de la red de colectores. En estos casos, es necesario justificar el método de cálculo. (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017, pág. 85).

Curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF)

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retorno específicos. Es necesario verificar la existencia de curvas IDF para la localidad. Si existen, éstas deben ser analizadas para establecer su validez y confiabilidad para su aplicación al proyecto. Si no existen, es necesario obtenerlas a partir de información existente de lluvias. (Oliveras, 2013)

La obtención de las curvas IDF debe realizarse con información Pluviográfica de estaciones ubicadas en la localidad, derivando las curvas de frecuencia correspondientes mediante análisis puntuales de frecuencia de eventos extremos máximos. La distribución de probabilidad de Gumbel se recomienda para estos análisis, aunque otras también pueden ser ajustadas. Eventualmente, es posible hacer análisis regionales de frecuencia en caso de disponer de más de una estación Pluviográfica. Si no existe información en la población, debe recurrirse a estaciones localizadas en la zona lo más cercanas a la población. Si esto no permite derivar curvas IDF aceptables para el proyecto, deben ajustarse curvas IDF por métodos sintéticos, preferencialmente derivados con información Pluviográfica colombiana. De acuerdo con el **nivel de complejidad del sistema**, la manera mínima permitida de obtención de las curvas IDF.

Cuadro 1. Tabla D.4.9 Mínimo requerimiento para la fuente de obtención de curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF)

| Nivel de complejidad del sistema | Obtención mínima de curvas IDF |
|----------------------------------|------------------------------------|
| Bajo y medio | Sintética |
| Medio alto | Información Pluviográfica regional |
| Alto | Información Pluviográfica local |

Tomado del reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico título D de 2016

Para los sistemas de todos los niveles de complejidad

❖ **Coefficiente de escorrentía:** Para la determinación de este parametro el diseñador debe considerar las pérdidas por infiltración y cualquier otro efecto que tenga como consecuencia el retraso del flujo de escorrentía.

❖ **La intensidad de la precipitación:** Depende del modelo de estimacion del caudal de aguas pluviales, en el metodo racional se debe utilizar la intensidad media de la precipitación, calculadas en las curva de intensidad, duracion y frecuencia (IDF), de acuerdo al periodo de retorno elegido para el diseño.

❖ **Curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF):** Se usan para la estimacion de caudales pluviometricos , por medio de ellas se pueden identificar los eventos mas extremos de

precipitaciones en una zona determinada y definen la intensidad de la precipitación en un transcurso de tiempo, durante el periodo de retorno establecido.

$$I = 341.9543 \frac{T^{0.119637}}{t^{0.61885}}$$

Donde:

- ❖ I= Intensidad
- ❖ T= Periodo de retorno (años)
- ❖ t= Tiempo de precipitación (min)

Periodo de retorno de diseño

Se define como el período de tiempo que transcurre entre dos eventos o sucesos de similares características (precipitaciones, caudales, temperaturas, etc.). Generalmente se expresa en años (Pizarro et al., 2004).

Se determina según la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes. La selección del periodo de retorno está asociada entonces con las características de protección e importancia del área de estudio y, por lo tanto, el valor adoptado debe estar justificado. En la tabla D.4.1 se establecen valores de periodos de retorno o grado de protección.

Cuadro 2. Tabla D.4.1 Períodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema.

| Características del área de drenaje | Mínimo (años) | Aceptable (años) | Recomendado (años) |
|--|------------------|---------------------|-----------------------|
| Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 ha | 2 | 2 | 3 |
| Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 ha | 2 | 3 | 5 |
| Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 ha | 2 | 3 | 5 |
| Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 ha | 5 | 5 | 10 |
| Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores de 1000 ha * | 10 | 25 | 50 |
| Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 ha | 25 | 50 | 100 |

Tomado del reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico título D de 2016

Según el nivel de complejidad y el grado de protección del sistema, se determina la categoría sobre la cual se va a trabajar para el cálculo del caudal.

Cuadro 3. Tabla D.4.2 Grado de protección según el nivel de complejidad del sistema.

| Nivel de complejidad del sistema | Grado de protección igual o mayor al: |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| Bajo y Medio | Mínimo |
| Medio alto | Aceptable |
| Alto | Recomendado |

Tomado del reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico título D de 2016

Cuando el caudal exceda el diseño, se debe considerar el aumento del periodo de retorno. Es necesario dar un borde libre para canales, donde se incremente la capacidad de la conducción total del agua.

Intensidad de precipitación

Depende del modelo de estimación del caudal de aguas pluviales, en el método racional se debe utilizar la intensidad media de la precipitación, calculada en la curva de intensidad, duración y frecuencia (IDF), de acuerdo al periodo de retorno elegido para el diseño.

Los valores de intensidad dados por las curvas IDF corresponden a valores puntuales representativos de áreas relativamente pequeñas. En la medida en que las áreas de drenaje consideradas se hacen más grandes, la intensidad media de la lluvia sobre éstas se reduce debido a la variabilidad espacial del fenómeno de precipitación. En consecuencia, resulta conveniente

considerar factores de reducción de la intensidad media de la precipitación en la medida en que el área de drenaje se incremente. Los valores de la tabla D.4.8 corresponden a factores de reducción para convertir la intensidad puntual en intensidad media espacial

Cuadro 4. Tabla D.4.8 Factor de reducción de la intensidad media de precipitación para diferentes áreas de drenaje.

| Áreas de drenaje (ha) | Factor de reducción |
|-----------------------|---------------------|
| 50-100 | 0.99 |
| 101-200 | 0.95 |
| 201-400 | 0.93 |
| 401-800 | 0.90 |
| 801-1600 | 0.88 |
| 801-1600 | 0.88 |

Tomado del reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento básico título D de 2016

Coefficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía, C , es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escorrentía. De igual manera, debe incluir consideraciones sobre el desarrollo urbano, los planes de ordenamiento territorial y las disposiciones legales locales sobre uso del suelo. El valor del coeficiente C debe

ser estimado tanto para la situación inicial como la futura, al final del periodo de diseño Para áreas de drenaje que incluyan subáreas con coeficientes de escorrentía diferentes, el valor de C representativo del área debe calcularse como el promedio ponderado con las respectivas áreas.

Para la determinación de este parametro el diseñador debe considerar las pérdidas por infiltración y cualquier otro efecto que tenga como consecuencia el retraso del flujo de escorrentía. Para la estimación de C existen tablas de valores y fórmulas, algunas de las cuales se presentan en la tabla D.4.7 del RAS como guía para su selección. La adopción de determinados valores debe estar justificada.

Cuadro 5. Tabla D.4.7 Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad.

| Tipo de superficie | C |
|---|-----------|
| Cubiertas | 0,75-0,95 |
| Pavimentos asfálticos y superficies de concreto | 0,70-0,95 |
| Vías adoquinadas | 0,70-0,85 |
| Zonas comerciales o industriales | 0,60-0,95 |
| Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras | 0,75 |
| Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos | 0,60-0,75 |
| Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines | 0,40-0,60 |
| Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados | 0,45 |
| Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios | 0,30 |

| Tipo de superficie | C |
|------------------------|-----------|
| Laderas sin vegetación | 0,60 |
| Laderas con vegetación | 0,30 |
| Parques recreacionales | 0,20-0,35 |

Tomado del reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico título D de 2014

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración está compuesto por el tiempo de entrada y el tiempo de recorrido en el colector. El tiempo de entrada corresponde al tiempo requerido para que la escorrentía llegue al sumidero del colector, mientras que el tiempo de recorrido se asocia con el tiempo de viaje o tránsito del agua dentro del colector.

$$T_c = T_e + T_t$$

Tiempo de entrada (Te):

Existen varias fórmulas para estimar el tiempo de entrada. La ecuación de la FAA de los Estados Unidos se utiliza frecuentemente para la escorrentía superficial en áreas urbanas. Esta ecuación es

$$T_e = \frac{0.707 * (1.1 - C) * L^{\frac{1}{2}}}{S^{\frac{1}{2}}}$$

La fórmula de Kerby también permite estimar T_e

$$T_e = 1.44 * \left(\frac{Lm}{S^2} \right)^{0.467}$$

m puede ser estimado a partir del tipo de superficie, con base en los valores del cuadro 6, extraídos del título D del RAS 2017

Cuadro 6. Tabla D.4.11. Coeficiente de retardo.

| Tipo de superficie | m |
|--|------|
| Bosque con sotobosque denso | 0,70 |
| Pastos y patios | 2,00 |
| Áreas cultivadas en surcos | 2,70 |
| Suelos desnudos | 3,15 |
| Áreas pavimentadas y tramos iniciales de quebradas | 6,50 |

Tomado del reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico título D de 2014

El Soil Conservation Service (SCS) propone estimar T_e con base en la velocidad media de escorrentía superficial sobre el área de drenaje y la distancia de recorrido

$$T_e = \frac{L}{(60 * V_s)}$$

V_s puede aproximarse por

$$V_s = a * S^{1/2}$$

a es una constante que depende del tipo de superficie, tal como se muestra el cuadro 7 extraído del título D del RAS 2017.

Cuadro 7. Tabla D.4.10 Constante a de velocidad superficial

| Tipo de superficie | a |
|--|------|
| Bosque con sotobosque denso | 0,70 |
| Pastos y patios | 2,00 |
| Áreas cultivadas en surcos | 2,70 |
| Suelos desnudos | 3,15 |
| Áreas pavimentadas y tramos iniciales de quebradas | 6,50 |

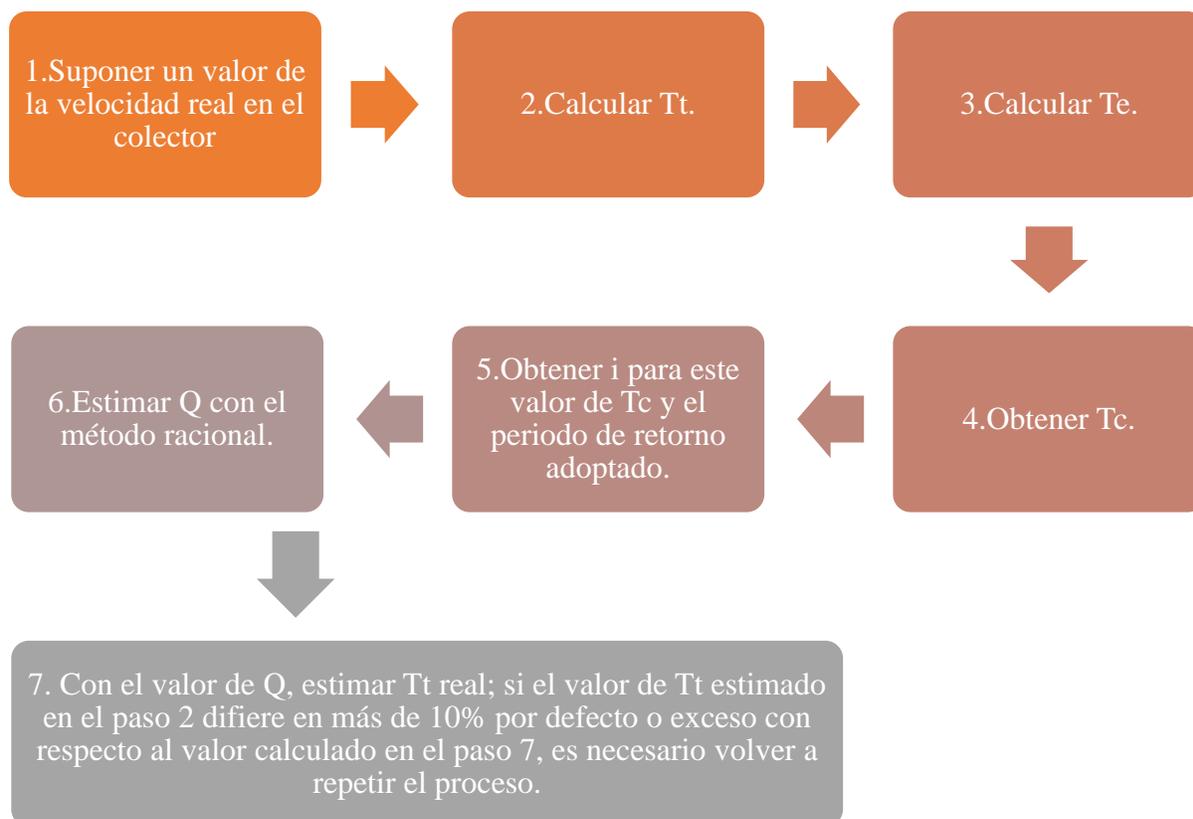
Tomado del reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico título D de 2016

Tiempo de recorrido (Tt):

El tiempo de recorrido en un colector se puede calcular como

$$T_t = \frac{L_c}{(60 * V)}$$

Dado que T_t debe corresponder a la velocidad real del flujo en el colector, el tiempo de concentración puede determinarse mediante un proceso iterativo, tal como se describe a continuación:



El tiempo de concentración mínimo en pozos iniciales es 10 minutos y máximo 20 minutos. El tiempo de entrada mínimo es 5 minutos. Si dos o más colectores confluyen a la misma estructura de conexión, debe considerarse como tiempo de concentración en ese punto el mayor de los tiempos de concentración de los respectivos colectores.

Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel

Se usa para modelar la distribución de los picos extremos en un periodo de tiempo, así por medio de estos valores, se puede llegar a indicar la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural por medio de estadígrafos de posición; que para la serie de datos donde indican alrededor de qué valor se agrupan los datos obtenidos, como es el caso de la media. Indican, además, los estadígrafos de dispersión. Estos estadígrafos o estadísticos extraen información de una muestra, por lo que indican las características de la población:

❖ **Media:** Es el valor esperado de la variable misma o primer momento respecto al origen. Muestra la tendencia central de la distribución y su valor estimado a partir de la muestra, es:

$$\bar{x} = \frac{l}{n} \sum_{j=1}^n x_i$$

❖ **Desviación Estándar:** Es una medida de la variabilidad, ya que es la raíz cuadrada de los cuadrados de las diferencias y su valor estimado se denota como:

$$s = \sqrt{\frac{l}{n-l} \sum_{i=l}^n Cx - \bar{x})^2}$$

Ajuste a una Función de Distribución de Probabilidad:

Luego de la definición de la probabilidad de excedencia, se debe proceder a ajustar los registros de lluvias a una Función de Distribución de Probabilidad. Una de las más utilizadas es la de Gumbel, dado que ha demostrado poseer una adecuada capacidad de ajuste a precipitaciones, en distintos períodos de tiempo (Pizarro y Novoa, 1986).

La función de distribución acumulada de Gumbel se define mediante la siguiente expresión:

$$F(X) = e^{-e^{-d(X-\mu)}}$$

Dónde: X = Valor a asumir por la variable aleatoria (precipitación de diseño).

d y μ = Parámetros a ajustar de la función.

e = Constante de Neper.

Los parámetros de la distribución de una muestra de tamaño infinito tienden a los siguientes valores, en base a la media aritmética y la desviación estándar de la muestra:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha$$

4.2 Marco Conceptual

La contaminación del agua es evidente a nivel mundial, y aunque el planeta tierra su mayor parte es agua, no toda es apta para consumo humano, ya que la demanda creciente de agua indispensable para la agricultura, la industria y el consumo doméstico ha creado una enorme competencia por el escaso recurso hídrico. El 70% de la superficie de la Tierra es agua, pero la mayor parte de esta es oceánica y solo 3% de ella es dulce, la cual se encuentra en su mayor parte en la forma de casquetes de hielo y glaciares; y solo 1% es agua dulce superficial fácilmente accesible. Esta es el agua que se encuentra en lagos, ríos y a poca profundidad en el suelo. (Agudelo R. M., 2005) De acuerdo con esto el sistema de captación de aguas lluvias es una alternativa para el aprovechamiento del agua y así mismo reduciendo costos en los pagos del servicio público.

Un sistema es un conjunto de partes o elementos organizadas y relacionadas que interactúan entre sí para lograr un objetivo. Los sistemas reciben (entrada) datos, energía o materia del ambiente y proveen (salida) información, energía o materia. (7)

La captación de agua de lluvia: Es la recolección, transporte y almacenamiento del agua de lluvia que cae sobre una superficie de manera natural o hecha por el hombre. Las superficies que captan el agua en las ciudades pueden ser techos de casas y edificios, techumbres de almacenes y de tiendas, explanadas, etc. Por lo tanto, un sistema de captación de aguas lluvias

consiste en la recolección y almacenamiento de agua precipitada, para luego ser aprovechada.

(arquinetpolis, 2017)

Para el análisis de la información meteorológica, se debe tener en cuenta algunos términos como los siguientes:

❖ Estación Pluviográfica (PG) (Redes): Según el IDEAM “Registra en forma mecánica y continua la precipitación, en una gráfica que permite conocer la cantidad, duración, intensidad y periodo en que ha ocurrido la lluvia. Actualmente se utilizan los pluviógrafos de registro diario”.

❖ Hidrología: Según el IDEAM “Es el estudio del movimiento, de la distribución, y de la calidad de agua a través de la tierra”.

❖ Oferta Hídrica: Según el IDEAM “Consiste en los volúmenes de agua disponibles, tanto, espacial como temporal en un área hidrográfica”.

❖ Ciclo hidrológico: según el gobierno principado de asturias el “proceso por el cual las masas de agua cambian de estado y posición relativa en el planeta. Es un proceso continuo en el que una molécula de agua describe un ciclo cerrado pasando por varios estados de agregación de la materia diferentes. Las etapas que contempla el ciclo hidrológico del agua son : Evaporación, Condensación, Precipitación, Escorrentía y Transporte”.

❖ Cambio climático: Según el IDEAM “se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables según La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”.

❖ Calentamiento global: Es un aumento de la temperatura media de la superficie terrestre, considerado como un síntoma y una consecuencia del cambio climático.

4.3 Marco Legal

Colombia es un país con grandes riquezas naturales como la biodiversidad de flora, fauna y variedad de pisos térmicos; es por esto por lo que es muy apetecido para la explotación de sus recursos, degradando su naturaleza que como consecuencia disminuye la calidad de vida, por la contaminación y falta de recursos. Por ende, el gobierno establece las normas que protejan, disminuya y prevenga la destrucción de sus recursos. Así nos apoyamos en la legislación colombiana, para el diseño del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias de la siguiente manera:

La Constitución Nacional en su Artículo 8 “Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación” y en su Artículo 8 “Es deber de las personas y del ciudadano de proteger los recursos naturales y de velar por la conservación del ambiente”; Apoyándonos en los artículos mencionados, no concientizamos de la obligación

nuestra como ciudadanos de proteger nuestros recursos naturales, nos inspira generar estrategias para cumplir con este deber, en nuestro caso generando un grado valorativo al agua lluvia, que se desperdicia al no dársele un uso y llegando a encontrarse en el sistema de alcantarillado con las aguas residuales sanitarias del plantel educativo.

La Constitución Nacional en su Artículo 79 “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano” y el Decreto 2811 de 1974 “Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente” En definición y normas generales de política ambiental nos basamos en contexto para el diseño que se plantea para el aprovechamiento del agua podría garantizar un uso eficiente del agua, conservando y valorando este recurso, para el gozo de este por las generaciones futuras.

Ley 99 de 1993 “por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones” En esta norma existen los fundamentos de la política ambiental colombiana donde nos habla de que “por ser la biodiversidad del país patrimonio nacional y de interés de la humanidad, deberá ser protegida y aprovechada de forma sostenible”, es así como nuestra propuesta cumple con este deber, ya que se genera como estrategia para aprovechar de manera sostenible el agua lluvia antes de que se mezcle con las aguas residuales sanitarias que como consecuencia se están convirtiendo automáticamente en aguas residuales sanitarias, también generando estrategias que puedan ser parte en la creación de un programa de uso para el uso eficiente y ahorro del agua como nos dice la Ley 373 de 1997 “Uso eficiente y ahorro del agua”.

Documento CONPES 1750 de 1995 “se crean disposiciones y regulaciones frente al uso del agua a nivel nacional, y se dictan otras disposiciones” Generando la propuesta para el aprovechamiento del agua de como derecho y con uso responsable.

Se toma como referencia la Resolución 330 del 8 de junio de 2017 que establece “El reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico — RAS” para establecer los parámetros mínimos bajo sus lineamientos y desarrollar el diseño del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 Ubicación geográfica

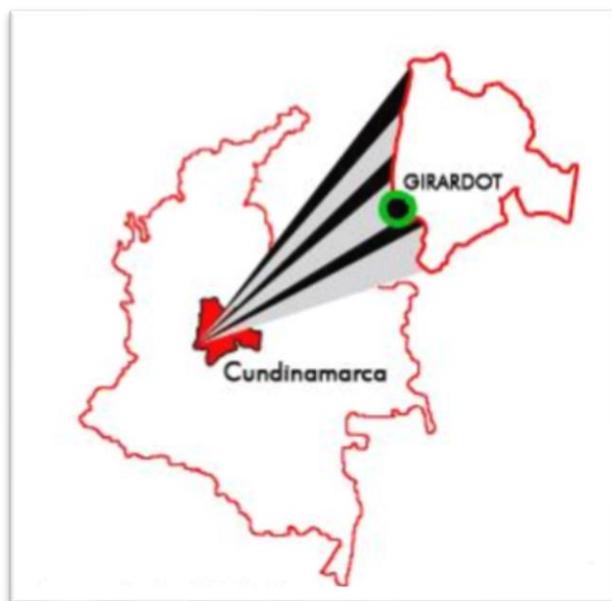


Figura 1. Girardot en el país.

Fuente: Alcaldía de Girardot

El municipio de Girardot es uno de los 116 que conforman el departamento de Cundinamarca, se encuentra ubicado hacia el centro de la república de Colombia. Limita al norte con los municipios de Nariño y Tocaima, al sur con el municipio de Flandes y el río Magdalena, al oeste con los municipios de Nariño y Coello y el río Magdalena y al este con el municipio de Ricaurte y el río Bogotá. El puerto se encuentra sobre la margen derecha del Río Magdalena a una altura sobre el nivel del mar de 288,926 m.s.n.m. pertenece a la Provincia del alto Magdalena y cuenta con una población total aproximada de 127.667 habitantes según el censo del DANE del

año 2005. Presenta un clima seco con dos periodos de lluvias en los meses de Abril – Mayo y Septiembre – Octubre. Su temperatura ambiente promedio es de 28 C, llegando a un máximo de 35 C y un mínimo promedio de 20 C. Su extensión es de 138 km², se encuentra en un terreno llano, enmarcado por las estribaciones de la cordillera oriental y con la denominada cordillera Alonso Vera en los límites de Nariño. Este municipio hace parte de la Cuenca Alta del Río Magdalena y de la Cuenca Baja del Río Bogotá, las microcuencas ubicadas allí son: El Cobre, Chicalá, Miraflores, El Gallo, El Coyal, Zanja – Honda, Quebrada Portachuelo y La Yegüera.

Sus Coordenadas son:

- ❖ Latitud: 4° 18,18' Latitud Norte
- ❖ Longitud: 74° 48,06' Longitud Oeste

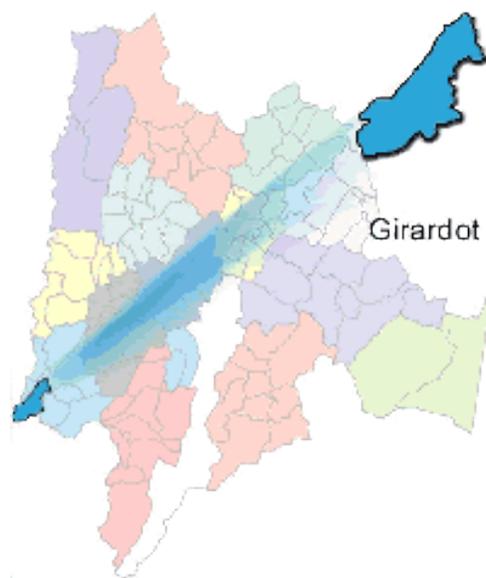


Figura 2. Ubicación del municipio de Girardot, en el Departamento de Cundinamarca.

Fuente: Alcaldía de Girardot.

La Universidad De Cundinamarca Seccional Girardot se encuentra ubicada en la Cra 19 #24-209; area donde se realizara el estudio del proyecto.

El universo del estudio está basado en la precipitación en Girardot-Cundinamarca, la población se basa en el área de estudio de la universidad de Cundinamarca seccional Girardot y la muestra será el volumen de aguas pluviales captadas por un sistema de recolección propuesto en los techos del auditorio y del bloque educativo.



Figura 3. Universidad de Cundinamarca en Girardot.

Fuente: Google maps

5.2 Características climáticas del área del proyecto

Como breve reseña de las condiciones climatológicas se presentan a continuación las referencias básicas de temperatura, humedad relativa, precipitación, brillo solar y evaporación del municipio de Girardot. Para el desarrollo del estudio, se tomaron los datos de precipitación registrados por el IDEAM hasta el primer semestre del año 2017 como fuente de información hidrológica la estación “Pozo Azul” ubicada en el casco urbano del Municipio de Girardot-Cundinamarca la cual toma mediciones de las precipitaciones presentadas en la región, siendo esta de carácter pluviométrico.

Cuadro 8. Estación del sector.

| Datos Estación Pluviométrica | | | | | | |
|------------------------------|----------------|--------------------|-----------|--------|----------------|------|
| Estación: | Pozo Azul | Coordenadas | X = | 969200 | Cota = | 450 |
| Denominación: | PG 21201810 | UTM Huso 31 (M) | Y = | 917550 | | MSNM |
| Oficina Provincial | Alto Magdalena | | Ubicación | | Girardot Cund. | |

Fuente: IDEAM 2017

5.2.1 Pisos térmicos.

El clima que predomina en la región donde está ubicada la seccional Ucundinamarca es cálido y bastante seco, presentado remanentes de bosque seco tropical (Bs-T) primario y

secundario en la zona noroccidental del municipio de Girardot en sus límites con los municipios de Nariño y Tocaima, de lo cual se sabe que el bosque seco tropical es de tipo caducifolio y crece en regiones de altitud menor a 1600 msnm.

5.2.2 Temperatura.

Según la caracterización biofísica del municipio de Girardot realizada por la CAR y consignada en el Plan de Ordenamiento Territorial municipal (POT), el comportamiento de la temperatura del municipio es monomodal, con un periodo de mayor temperatura entre agosto y septiembre y periodos de temperaturas más baja entre los primeros meses del año, lo cual tiene como temperatura media 28.4 grados Celsius.

5.2.3 Humedad Relativa.

El promedio de humedad relativa reportada por el IDEAM y corroborado en el sitio WEB del municipio es de 66.38%.

5.2.4 Precipitación.

El régimen de lluvias que presenta el municipio de Girardot es de tipo bimodal, de lo cual se dice que tiene en el año dos periodos de precipitaciones y uno de sequía en el año, de esta manera los meses de Marzo, abril, y mayo presentan un promedio de lluvias de 363.3 mm y entre los meses de septiembre, octubre y noviembre presentan un promedio de 241.2 mm de lluvia,

presentando a Julio como el mes más seco del año con 192.2 mm de lluvia, y para un total de 854.8 mm. de lluvia anuales.

5.2.5 Brillo y Radiación Solar.

Los datos de brillo solar reportados por la estación climatológica La Victoria de Tocaima hasta el primer semestre del año 2017, presentan los valores altos en el mes de enero con 485 cal/cm² y los más bajos en el mes de junio con 391 cal/cm².

5.2.6 Evaporación.

Según el diagnóstico de la cuenca alta del río Magdalena emitido en el año 2016 por la CAR, la evaporación presenta comportamiento inverso con los periodos de lluvias, asume valores altos en los meses secos (entre 108 y 112mm) y valores bajos para los meses de alta precipitación (entre 92 y 100mm).

5.2.7 Topografía del área de estudio.

La Ucundinamarca Seccional Girardot cuenta con un área de 2.6 hectáreas aproximadamente, de las cuales el 25% está intervenido estructuralmente, y el área restante son zonas verdes, canchas de fútbol, voleibol, El predio de la Seccional cuenta con una cota máxima de 298.5 m.s.n.m en el área administrativa, y una cota mínima de 287.0 m.s.n.m. en la entrada del

mismo, de esta manera el predio cuenta con una pendiente promedio del 10%, y amplias zonas verdes que dan sombra y frescura a la comunidad udecina, de acuerdo con plano topográfico anexado al presente documento.

5.3 Materiales y métodos

El método de investigación aplicado en el presente trabajo es tipo estadístico descriptivo mixto, es decir, cualitativo y cuantitativo: en la evaluación y análisis de la estructura existente de manejo de agua lluvia se emplean variables descriptivas cualitativas (tipo de techo y material, tipo y material de canaletas estado de estructuras, división de agua); del mismo modo, en la estimación de caudales y los cálculos matemáticos empleados para la estimación de áreas de captación y la infraestructura de recolección y almacenamiento de aguas lluvias aplicación medidas de tendencia central, intervalos de confianza, tablas y gráficos de distribución de frecuencia en la estimación de precipitaciones máximas, aplicación del método racional para la estimación de caudales; actuando en marco del cronograma de actividades (ver cronograma anexo) dispuesto para el desarrollo del diseño.

5.3.1 Adquisición de datos primarios.

Los datos o insumos primarios para el análisis de la oferta del agua (precipitaciones) será representados por el registro histórico pluviométrico (mínimo veinticinco años) por las estaciones pluviométricas más cercanas a nuestra área de estudio.

Para el análisis de demanda, se requiere información de consumo y costos que se encuentran en las facturas canceladas a la empresa prestadora de servicio de agua potable ACUAGYR S.A.S E.S.P.

Es importante tener información topográfica del área a estudiar, para los diferentes cálculos de presiones y velocidades.

Diagnóstico de estado de estructura de manejo de agua pluvial

Se realizará una evaluación del estado inicial de la estructura con la implementación de una lista de chequeo, la cual será una herramienta para obtener una línea base del diseño del sistema y de igual forma, obtener la estimación de los costos de la implementación de este.

5.3.2 Análisis de oferta y demanda.

Las posibles precipitaciones se estimarán con la aplicación de medidas de tendencia central (promedio, mediana y moda), la probabilidad estadística de valores máximos de Gumbel para cada mes del año, las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) que sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación y definen la intensidad media de lluvia para diferentes periodos de retorno específicos.

La estimación de caudales se realizará con el método racional de hidrología, el cual calcula el caudal pico de aguas lluvias con base en la intensidad hallada con las curvas I.D.F. del evento de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de escorrentía. El área de drenaje está dada por los techos y cubiertas de las instalaciones de la seccional los cuales serán estimados con un diseño topográfico donde se estipulen áreas, bajantes y cajas.

El análisis de la demanda se realizará mediante la organización de datos por cada mes, con esta jerarquización se procede a aplicar medidas de tendencia central (promedio, mediana y moda) para la estimación de volúmenes gastados mes a mes; se hace de esta forma para evaluar el gasto en periodo académico y periodo de receso o vacaciones; la comparación entre ambos periodos permitirá evaluar el uso dado al agua potable pagada.

5.3.3 Diseño de sistema de recolección y distribución.

El diseño hidráulico del sistema se realizará de acuerdo con el capítulo D.4 de la resolución 330 de junio de 2017 (RAS) sobre sistemas de alcantarillado pluvial, la Guía De Diseño Para Captación Del Agua De Lluvia del Centro Panamericano De Ingeniería Sanitaria de Ciencias del Ambiente (CEPIS) y el libro Elementos De Diseño A Acueducto Y Alcantarillado del Ingeniero Ricardo Alfredo López Cualla.

5.3.4 Determinación de áreas de drenaje o captación.

Para la determinación de las áreas de drenaje, es necesario obtener información topográfica del plantel, es por esto por lo que dicha información se toma de los planos del plantel educativo, con el fin de la identificar las áreas de: drenaje, jardinería, baños sanitarios y también se usará el plano como instrumento de análisis para la ubicación estratégica del tanque de almacenamiento.

Institucionalmente se requerirá disposición del personal financiero de la seccional en calidad de colaboradores para la adquisición de información primaria de consumo, al igual el equipo de ayudas del IDEAM, de los cuales se espera disponibilidad de la información de registros pluviométricos

Una vez colectada la información se procederá a realizar los cálculos para el análisis de la información, los cuales se llevarán a cabo en las instalaciones de la biblioteca en fechas programadas con la directora de trabajo de grado quien orienta el desarrollo del proyecto.

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 Análisis de la estructura recolectora

Se realizó un análisis del estado actual de la estructura del sistema recolector de aguas lluvias (Canaletas, bajantes y cajas), donde se pudo evidenciar que no se encuentra en óptimas condiciones para brindar un adecuado funcionamiento del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, ya que se presentarías conexiones erradas, es decir pérdidas de aguas. Dentro del sistema recolector se evidencia que el 75% de las canaletas y bajantes, se encuentran desempalmadas, rotas, oxidadas y obstruidas por algunas aves. Es por lo que se recomienda cambiar las canaletas y bajantes por unas nuevas en material de policloruro de vinilo (PVC) ya que los proveedores de estas ofrecen veinte años como tiempo de duración Del producto, además este material es más liviano, no se oxida, es fácil de limpiar y soporta mejor las condiciones climáticas en las que se encuentra actualmente el área de estudio. Las cajas se encuentran en óptimas condiciones de funcionamiento para que en caso de la ejecución del, estás sirvan para la recolección de las aguas, y la tubería que actualmente conducen las aguas lluvias al alcantarillado combinado se plantea derivarla hacia el tanque de almacenamiento ubicado dentro del plano en el área cercana al auditorio, ya que al aprovechar el recorrido de la red de aguas lluvias y las cajas, es más fácil que el agua llegue por gravedad al tanque de almacenamiento y luego se impulse el agua lluvia por medio de una bomba hacia los puntos de distribución que se establezca el ejecutor, a llevar el agua recolectada a un tanque en una superficie alta.

6.2 Periodo de retorno de diseño

De acuerdo con el artículo 135 del RAS 2017 “El periodo de retorno de diseño debe determinarse según la importancia de las áreas y con respeto a los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, tráfico vehicular, comercio, industria, etc”. La selección del periodo de retorno está asociada entonces con las características de protección e importancia del área de estudio.

Dependiendo del nivel de complejidad del sistema, las autoridades locales deben definir el grado de protección, esto es, mínimo, aceptable o recomendado. En cualquier caso, este grado de protección o periodo de retorno debe ser igual o mayor al presentado en la tabla D.4.3. del RAS 2017, Sin embargo, en casos especiales en los cuales exista el peligro de vidas humanas, las autoridades locales pueden incrementar el grado de protección. En consecuencia a lo anterior se toma un periodo de retorno de 50 años para el sistema de aprovechamiento de aguas, puesto que la confluencia de estudiantes y comunidad involucrada en el área de estudio.

Cuadro 9. Tabla D.4.2 Grado de protección según el nivel de complejidad del sistema

| Nivel de complejidad del sistema | Grado de protección igual o mayor al: |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| Bajo y Medio | Mínimo |
| Medio Alto | Aceptable |
| Alto | Recomendado |

Tomado del reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico título D de 2016

En los casos en los cuales el caudal que exceda el caudal de diseño tenga la posibilidad de verter por una ladera o escarpe con potencialidad de desestabilización de las canaletas, debe considerarse el aumento del periodo de retorno, de igual manera, es necesario proveer un borde libre que debe incrementar la capacidad total de conducción de agua.

6.3 Caudal de diseño

La estimación del caudal de diseño se hace mediante el método racional, de la siguiente manera:

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía

I: intensidad de lluvias (mm/hr)

A: Área de proyecto (Ha)

6.3.1 Coeficiente de escorrentía.

El coeficiente de escorrentía, C, es función del tipo de superficie receptora o de primer contacto con el agua pluvial, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y

otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración, si se tratase de suelo. De igual manera, debe incluir consideraciones sobre el desarrollo urbano, los planes de ordenamiento territorial y las disposiciones legales locales sobre uso del suelo del área de interés o desarrollo del proyecto, de esta manera se prevé que el coeficiente C debe ser estimado tanto para la situación inicial como la futura, al final del periodo de diseño. Fr igual manera si se presentan diferentes tipos de áreas de drenaje que incluyan subáreas con coeficientes de escorrentía diferentes, el valor de C representativo del área debe calcularse como el promedio ponderado con las respectivas áreas.

Para la estimación de C existen tablas de valores y fórmulas, en este caso la estimación del coeficiente de escorrentía se hace de acuerdo con la siguiente tabla:

Cuadro 10. Tabla D.4.7 Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad

| Tipo de superficie | C |
|--|-----------|
| Cubiertas | 0,75-0,95 |
| Pavimentos asfálticos y superficies de concreto | 0,70-0,95 |
| Vías adoquinadas | 0,70-0,85 |
| Zonas comerciales o industriales | 0,60-0,95 |
| Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras | 0,75 |
| Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos | 0,60-0,75 |

| Tipo de superficie | C |
|---|-----------|
| Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines | 0,40-0,60 |
| Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados | 0,45 |
| Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios | 0,30 |
| Laderas sin vegetación | 0,60 |
| Laderas con vegetación | 0,30 |
| Parques recreacionales | 0,20-0,35 |

Tomado del reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico título D de 2016

Puesto que la aplicación del sistema se formulará para el bloque educativo y el auditorio de la Seccional, se emplea un valor de $C=0.85$, puesto que el área de captación del sistema está comprendida por los techos o cubiertas del auditorio y bloque educativo de la seccional.

6.4 Curvas de intensidad-duración-frecuencia

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retorno específicos. Es necesario verificar la existencia de curvas IDF para la localidad. Si existen, éstas deben ser

analizadas para establecer su validez y confiabilidad para su aplicación al proyecto. Si no existen, es necesario obtenerlas a partir de información existente de lluvias.

La obtención de las curvas IDF debe realizarse con información pluviométrica de estaciones ubicadas en la localidad del proyecto, derivando las curvas de frecuencia correspondientes mediante análisis puntuales de frecuencia de eventos extremos máximos. La distribución de probabilidad de Gumbel se recomienda para estos análisis, aunque otras también pueden ser ajustadas. Eventualmente, es posible hacer análisis regionales de frecuencia en caso de disponer de más de una estación Pluviográfica.

Si no existe información en la población, debe recurrirse a estaciones localizadas en la zona lo más cercanas a la población. Si esto no permite derivar curvas IDF aceptables para el proyecto, deben ajustarse curvas IDF por métodos sintéticos, preferencialmente derivados con información Pluviográfica colombiana de acuerdo con el nivel de complejidad del sistema, la manera mínima permitida de obtención de las curvas IDF según la Resolución 330 del 2017 Reglamento Técnico Para El Sector De Agua `Potable Y Saneamiento Básico (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017, pág. 89).

Cuadro 11. Tabla D.4.9 Curvas I.D.F.

| Nivel de complejidad del sistema | Obtención mínima de curvas IDF |
|----------------------------------|------------------------------------|
| Bajo y medio | Curvas sintéticas |
| Medio alto | Información Pluviográfica regional |
| Alto | Información Pluviográfica local |

Tomado del reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico título D de 2016

De acuerdo con la tabla anterior el proyecto tiene un nivel de complejidad **medio alto** por la población del municipio de Girardot que supera los ciento cincuenta mil habitantes.

6.4.1 Intensidad de precipitación.

La intensidad de precipitación que debe usarse en la estimación del caudal pico de aguas lluvias corresponde a la intensidad media de precipitación dada por las curvas IDF para el periodo de retorno de diseño definido con base en lo establecido en el literal D.4.3.4, y una duración equivalente al tiempo de concentración de la escorrentía, cuya estimación se define en el literal D.4.3.7. del RAS 2016

Los valores de intensidad dados por las curvas IDF corresponden a valores puntuales representativos de áreas relativamente pequeñas. En la medida en que las áreas de drenaje consideradas se hacen más grandes, la intensidad media de la lluvia sobre éstas se reduce debido a la variabilidad espacial del fenómeno de precipitación. En consecuencia, resulta conveniente

considerar factores de reducción de la intensidad media de la precipitación en la medida en que el área de drenaje se incrementa. Los valores de la tabla D.4.8 del RAS 2016 corresponden a factores de reducción para convertir la intensidad puntual en intensidad media espacial

Cuadro 12. Tabla D.4.8 Factor de reducción

| Áreas de drenaje (ha) | Factor de reducción |
|-----------------------|---------------------|
| 50 – 100 | 0,99 |
| 100 – 200 | 0,95 |
| 200 – 400 | 0,93 |
| 400 – 800 | 0,90 |
| 800 – 1600 | 0,88 |

Tomado del reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico título D de 2016

6.4.2 Tiempo de concentración.

El tiempo de concentración está compuesto por el tiempo transcurrido desde el contacto del agua pluvial con el techo, su recorrido en el mismo por proceso de escorrentía y acción de la gravedad hasta la llegada y recorrido por la canaleta, bajante, la caja, el tubo colector hasta su posterior almacenamiento. El tiempo de entrada corresponde al tiempo requerido para que el agua por escorrentía llegue a la canaleta, mientras que el tiempo de recorrido se asocia con el tiempo de viaje o tránsito del agua por la canaleta, bajante, llegada a las cajas de inspección y dentro del colector, este último es el encargado de llevarlo al tanque de almacenamiento final

$$T_C = T_e + T_t$$

6.4.2.1 *Tiempo de entrada, te.*

Existen varias fórmulas para estimar el tiempo de entrada. La ecuación de la FAA de los Estados Unidos se utiliza frecuentemente para la escorrentía superficial en áreas urbanas. Esta ecuación es

$$T_e = \frac{0.707 * (1.1 - C) * L^{1/2}}{S^{1/3}}$$

La fórmula de Kerby también permite estimar T_e

$$T_e = 1.44 \left(\frac{Lm}{S^{1/2}} \right)^{0.467}$$

m puede ser estimado a partir del tipo de superficie, con base en los valores de la tabla D.4.11.

Cuadro 13. Tabla D.4.11 Coeficiente de retardo

| Tipo de superficie | m |
|---|------|
| Impermeable | 0,02 |
| Suelo sin cobertura, compacto y liso | 0,10 |
| Superficie sin cobertura moderadamente rugosa | 0,20 |
| Pastos | 0,30 |
| Terrenos arborizados | 0,70 |

| Tipo de superficie | m |
|--------------------|------|
| Pastos densos | 0,80 |

Tomado del reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico título D de 2016

El Soil Conservation Service (SCS) propone estimar T_e con base en la velocidad media de escorrentía superficial sobre el área de drenaje y la distancia de recorrido

$$T_e = \frac{L}{(60 \cdot V_s)}$$

V_s puede aproximarse por

$$V_s = a * S^{\frac{1}{2}}$$

a es una constante que depende del tipo de superficie, tal como se muestra en la tabla D.4.7

Cuadro 14. Tabla D.4.10 Constante a de velocidad superficial

| Tipo de superficie | a |
|--|------|
| Bosque con sotobosque denso | 0,70 |
| Pastos y patios | 2,00 |
| Áreas cultivadas en surcos | 2,70 |
| Suelos desnudos | 3,15 |
| Áreas pavimentadas y tramos iniciales de quebradas | 6,50 |

Tomado del reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico título D de 2016

6.4.2.2 *Tiempo de recorrido, Total.*

El tiempo de recorrido en un colector se puede calcular como

$$T_t = \frac{L_c}{(60 * v)}$$

Dado que T_t debe corresponder a la velocidad real del flujo, el tiempo de concentración puede determinarse mediante un proceso iterativo, tal como se describe a continuación:

- ❖ Suponer un valor de la velocidad real en el colector
- ❖ Calcular T_t .
- ❖ Calcular T_e .
- ❖ Obtener T_c .
- ❖ Obtener i para este valor de T_c y el periodo de retorno adoptado.
- ❖ Estimar Q con el método racional.
- ❖ Con este valor de Q , estimar T_t real; si el valor de T_t estimado en el paso 2 difiere en más de 10% por defecto o exceso con respecto al valor calculado en el paso 7, es necesario repetir el proceso.

6.5 Modelamiento hidráulico

A continuación, se ubica la estación Tipo PG, código 2120181 POZO AZUL, es consistente en sus registros, por lo que se realizaron los análisis hidrológicos del área del proyecto y establecer los parámetros de diseño, la siguiente figura, muestra la ubicación en planta de la estación Pozo Azul

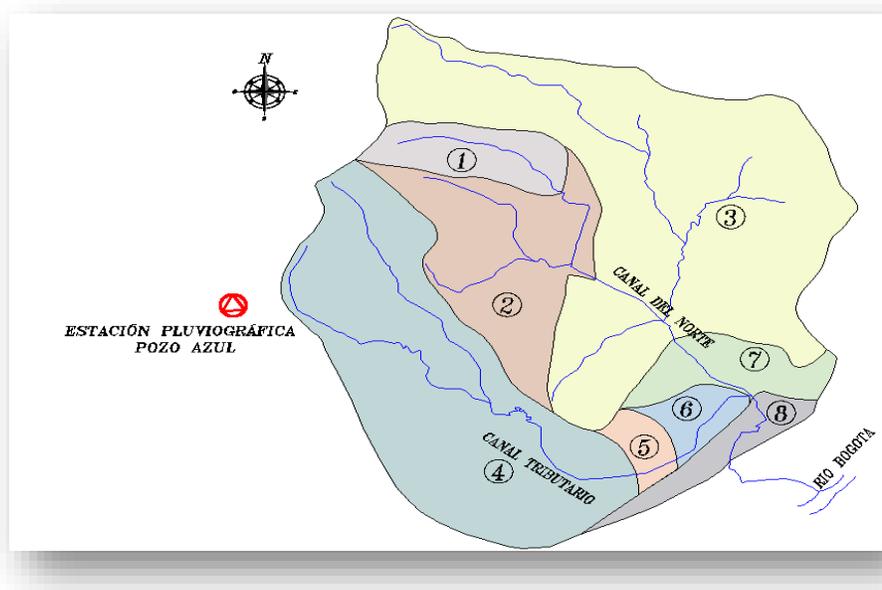


Figura 4. Ubicación Estación Pluviográfica Pozo Azul.

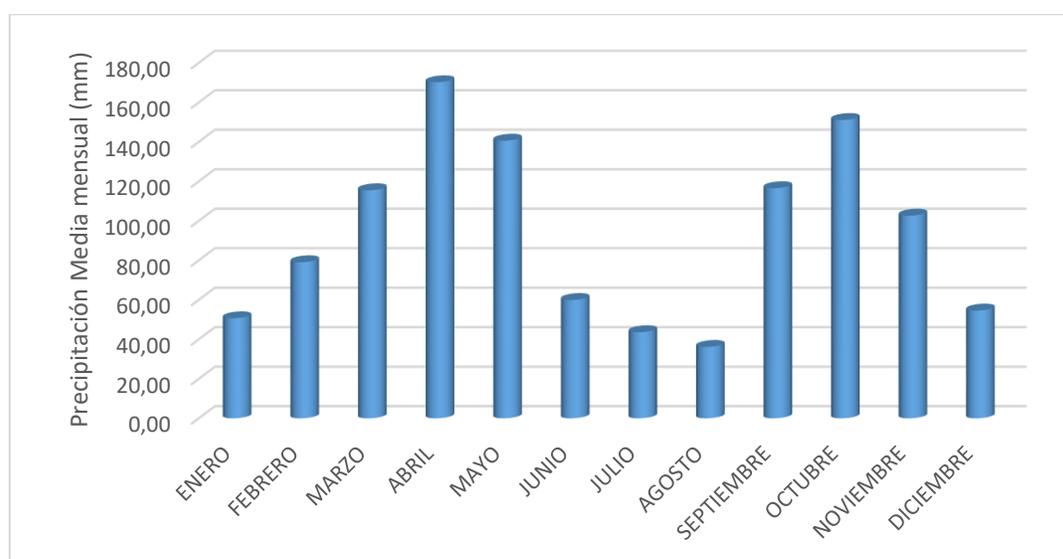
Fuente: Consorcio Consultoría Cundinamarca

6.5.1 Hidrometeorológica.

Por tratarse de un estudio hidrológico en el que es necesario revisar eventos extremos, se procesa el parámetro de precipitación máxima en 24 horas para diseño de obras y de precipitación total como datos referenciales.

Se presentan como anexos los registros de precipitación máxima en 24 horas y precipitación total de la estación Pozo Azul (PG).

Se analizan los registros de precipitación total mensuales multianuales del periodo marcado desde el año 1991 al año 2015 por la estación Pozo Azul (PG) para determinar la variación mensual multianual de estos parámetros, a continuación, se presenta el histograma de este parámetro.



Gráfica 1. Histograma de Precipitación Mensual Multianual año 2017. Estación Pozo

Azul. Fuente propia

6.5.2 Precipitación.

Se observa en la figura anterior que la precipitación total media mensual varía en un ciclo bimodal con picos en los meses de abril y octubre. Los valores más bajos se presentan en julio y agosto, el mes de agosto corresponde al mes menos lluvioso del año con 36.18 mm, desde donde inicia un periodo de incremento de la precipitación linealmente hasta alcanzar 151.06 mm en octubre, descender oscilatoriamente en enero hasta 50.69 mm para subir hasta los 170.20 mm en abril. La variación de la precipitación es notable para los periodos citados y se establece un trimestre “seco” correspondiente a los meses de junio, julio y agosto.

6.6 Metodología de cálculo.

6.6.1 Lluvia De Diseño.

Como parámetro de diseño, se ha contemplado que la duración del aguacero unitario es de aproximadamente una hora, para efectos de la lluvia de diseño se ha considerado que en este periodo se precipita el 90% de la lluvia esperada según el periodo de retorno. La consideración anterior es de tipo conservador y asegura que en toda el área se está generando aporte cuando ocurre la lluvia de diseño, lo que se considera un caso crítico aceptable para el cálculo de los

caudales pico de diseño de obras hidráulicas, por causar un aumento en el mismo, lo cual les dará más capacidad a las unidades del sistema; por tanto, la duración de un evento de lluvia para la zona de estudio tomada es igual a una hora.

6.6.2 Curva de intensidad-duración-frecuencia.

Para la estimación del caudal de lluvias posible por el método racional, es necesario la aplicación de las Curvas De Intensidad Duración y Frecuencia (IDF), para la estimación inicial de la intensidad de precipitación, la cual es necesaria en el Método racional, Los valores de intensidad de la lluvia (mm/h), se obtendrán a partir de los registros de precipitación máxima en 24 horas dados en el área de interés del sistema, registrados en la estación pluviométrica anteriormente relacionada.

Cuadro 15. Registros mensuales de precipitación max. en 24 horas.

| Año | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Máximo |
|------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|--------|
| 1991 | 23 | 7 | 24 | 35 | 49 | 44 | 25 | 6 | 73 | 13 | 36 | 32 | 73,00 |
| 1992 | 8 | 17 | 9 | 28 | 30 | 1 | 5 | 8 | 80 | 46 | 34 | 18 | 80,00 |
| 1993 | 56 | 32 | 26 | 83 | 19 | 11 | 21 | 15 | 29 | 45 | 54 | 58 | 83,00 |
| 1994 | 66 | 8 | 58 | 35 | 38 | 4 | 23 | 1 | 27 | 24 | 20 | 31 | 66,00 |
| 1995 | 4 | 4 | 19 | 52 | 44 | 53 | 85 | 29 | 60 | 51 | 51 | 42 | 85,00 |
| 1996 | 40 | 19 | 39 | 49 | 40 | 35 | 59 | 60 | 75 | 34 | 77 | 27 | 77,00 |
| 1997 | 28 | 45 | 39 | 42 | 22 | 37 | 0 | 0 | 32 | 38 | 33 | 55 | 55,00 |
| 1998 | 11 | 28 | 46 | 113 | 49 | 22 | 10 | 5 | 52 | 35 | 3 | 14 | 113,00 |
| 1999 | 28 | 128 | 24 | 74 | 11 | 26 | 5 | 37 | 48 | 53 | 49 | 24 | 128,00 |
| 2000 | 6 | 57 | 34 | 60 | 49 | 81 | 7 | 13 | 56 | 102 | 24 | 30 | 102,00 |
| 2001 | 61 | 53 | 75 | 60 | 80 | 9 | 36 | 0 | 27 | 67 | 81 | 20 | 81,00 |
| 2002 | 10 | 20 | 45 | 40 | 42 | 22 | 42 | 29 | 30 | 60 | 10 | 39 | 60,00 |
| 2003 | 1 | 39 | 29 | 22 | 52 | 26 | 0 | 4 | 33 | 86 | 55 | 23 | 86,00 |
| 2004 | 34 | 52 | 21 | 53 | 98 | 30 | 32 | 22 | 50 | 29 | 60 | 0 | 98,00 |
| 2005 | 66 | 35 | 66 | 28 | 57 | 14 | 9 | 2 | 41 | 77 | 76 | 27 | 77,00 |
| 2006 | 8 | 74 | 90 | 25 | 34 | 15 | 12 | 5 | 33 | 24 | 42 | 7 | 90,00 |

| Año | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Máximo |
|------|-------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|--------|
| 2007 | 51 | 0 | 78 | 101 | 90 | 8 | 60 | 6 | 31 | 66 | 37 | 4 | 101,00 |
| 2008 | 48 | 51 | 60 | 52 | 56 | 40 | 10 | 59 | 67 | 40 | 25 | 19 | 67,00 |
| 2009 | 31 | 18 | 31 | 71 | 51 | 20 | 2 | 14 | 56 | 21 | 42 | 35 | 71,00 |
| 2010 | 30 | 9 | 18 | 91 | 66 | 30 | 83 | 14 | 20 | 25 | 31 | 22 | 91,00 |
| 2011 | 3 | 100 | 37 | 32 | 15 | 5 | 23 | 8 | 24 | 43 | 60 | 12 | 100,00 |
| 2012 | 14 | 47 | 30 | 65 | 23 | 9 | 13 | 3 | 16 | 63 | 8 | 45 | 65,00 |
| 2013 | 5 | 65 | 55 | 52 | 43 | 20 | 6 | 13 | 91 | 52 | 51 | 39 | 91,00 |
| 2014 | 31 | 85 | 53 | 33 | 79 | 6 | 12 | 17 | 21 | 23 | 32 | 13 | 85,00 |
| 2015 | 27 | 41 | 42 | 84 | 48 | 24 | 24 | 36 | 45 | 48 | 43 | 26 | 84,00 |
| MAX | 66,00 | 128,00 | 90,00 | 113,00 | 98,00 | 81,00 | 85,00 | 60,00 | 91,00 | 102,00 | 81,00 | 58,00 | 128,00 |

Fuente: IDEAM 2017

Cuadro 16. Precipitación máxima probable: Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel

| N° | Año | Precipitación (mm) | |
|----|------|--------------------|---------------------|
| | | x_i | $(x_i - \bar{x})^2$ |
| 1 | 1991 | 73,00 | 64,00 |
| 2 | 1992 | 80,00 | 1,00 |
| 3 | 1993 | 83,00 | 4,00 |
| 4 | 1994 | 66,00 | 225,00 |
| 5 | 1995 | 85,00 | 16,00 |
| 6 | 1996 | 77,00 | 16,00 |
| 7 | 1997 | 55,00 | 676,00 |
| 8 | 1998 | 113,00 | 1024,00 |
| 9 | 1999 | 128,00 | 2209,00 |
| 10 | 2000 | 102,00 | 441,00 |
| 11 | 2001 | 81,00 | 0,00 |
| 12 | 2002 | 60,00 | 441,00 |
| 13 | 2003 | 86,00 | 25,00 |
| 14 | 2004 | 98,00 | 289,00 |
| 15 | 2005 | 77,00 | 16,00 |
| 16 | 2006 | 90,00 | 81,00 |
| 17 | 2007 | 101,00 | 400,00 |
| 18 | 2008 | 67,00 | 196,00 |
| 19 | 2009 | 71,00 | 100,00 |
| 20 | 2010 | 91,00 | 100,00 |
| 21 | 2011 | 100,00 | 361,00 |

| N° | Año | Precipitación (mm) | |
|----|-------------|--------------------|---------------------|
| | | x_i | $(x_i - \bar{x})^2$ |
| 22 | 2012 | 65,00 | 256,00 |
| 23 | 2013 | 91,00 | 100,00 |
| 24 | 2014 | 85,00 | 16,00 |
| 25 | 2015 | 84,00 | 9,00 |
| 25 | <i>Suma</i> | 2025,0 | 7057,0 |

La estimación de precipitaciones máximas por el método estadístico de Valores Máximos de Gumbel es un ejercicio necesario para asegurar que el sistema soporte lluvias fuertes y no tenga colapsos por falta de capacidad de este, los datos tabulados en el método son la misma precipitación máxima en 24 hr. este ejercicio es validado por el IDEAM para el diseño de proyectos de manejo y disposición de aguas lluvias.

6.6.3 Cálculos variables probabilísticas.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 81.00 \text{ mm}$$

X_i ; Representa los datos resultantes de las precipitaciones máximas presentadas en cada año, calculado a partir de los registros pluviométricos.

n ; Es el número de datos, es decir, 25 ya recopilamos información de 25 años atrás.

\bar{x} ; Identifica la media, que es el promedio de todos los datos en X_i , Es decir que es el promedio de todas las precipitaciones máximas.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 17.15 \text{ mm}$$

S ; La desviación típica, es una medida respecto a la distancia de la media central, es decir mide el grado de dispersión de los datos de precipitaciones con respecto a la precipitación promedio.

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 13.37 \text{ mm} \quad u = \bar{x} = 0.5772 * \alpha$$

α y u ; Son parámetros que nos permite ajustar los registros de lluvias a una Función de Distribución de Probabilidad en distintos periodos de tiempo.

La función de distribución acumulada de Gumbel se define mediante la siguiente

expresión: $F(X) = e^{-e^{-d(X-\mu)}}$

Dónde:

X = Valor a asumir por la variable aleatoria (precipitación de diseño).

d y μ = Parámetros a ajustar de la función.

e = Constante de Neper

Para calcular las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias, se desarrollan las siguientes ecuaciones:

- Variable reducida (YT):

$$-\ln\left(\ln\left(\frac{\text{periodo de retorno en años}}{\text{periodo de retorno en años} - 1}\right)\right)$$

- Precipitación (mm)P:

$$u + (\alpha * YT)$$

- Probabilidad de ocurrencia:

$$e^{-e^{-(\text{Precipitación(mm)}-u)/\alpha}}$$

- Corrección de intervalo fijo XT (mm):

$$\text{precipitación} * 1.13$$

Cuadro 17. Cálculo de las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias.

| Periodo | Variable | Precip. | Prob. de | Corrección |
|---------|----------|---------|------------|----------------|
| Retorno | Reducida | (mm)p | ocurrencia | intervalo fijo |
| Años | YT | XT'(mm) | F(xT) | XT (mm) |

| | | | | |
|-----|--------|-----------------------------|--------|----------|
| 2 | 0,3665 | 78,1831 | 0,5000 | 88,3469 |
| 5 | 1,4999 | 93,3370 | 0,8000 | 105,4708 |
| 10 | 2,2504 | 103,3702 | 0,9000 | 116,8083 |
| 25 | 3,1985 | 116,0471 | 0,9600 | 131,1333 |
| 50 | 3,9019 | 125,4516 | 0,9800 | 141,7603 |
| 100 | 4,6001 | 134,7867 | 0,9900 | 152,3089 |
| 500 | 6,2136 | 156,3586 | 0,9980 | 176,6852 |
| | | $F(X) = e^{-e^{-d(X-\mu)}}$ | | |

Cuadro 18. Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas.

| Duraciones, en horas | | | | | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 12 | 18 | 24 |
| 0,30 | 0,39 | 0,46 | 0,52 | 0,57 | 0,61 | 0,68 | 0,80 | 0,91 | 1,00 |

Fuente: D. F. Campos A., 1978

La tabla anterior muestra coeficientes típicos usados para relacionar la duración de las lluvias fuertes con los diferentes tiempos de retorno posibles para estimar caudal de aguas lluvias. De esta manera en la siguiente tabla se relacionan los diferentes tiempos de retorno posibles para el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias propuesto, con las posibles duraciones en horas de un aguacero típico en la región de estudio.

Se calculan las precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias tomando el valor de la corrección de intervalo fijo calculado anterior mente, de acuerdo con el

mismo año que se va a calcular en la precipitación máxima por tiempos de duración, es decir, que, si se va a calcular a dos años, mi valor de correlación deberá ser el dato calculado en dos años por el porcentaje de duración en horas ejemplo:

$$a \text{ dos años en 24 horas: } 88.3469 * 1.00 = 88.3469$$

Cuadro 19. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

| Tiempo de Duración | Cociente | Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración | | | | | | |
|--------------------|-----------|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 2 años | 5 años | 10 años | 25 años | 50 años | 100 años | 500 años |
| 24 hr | X24 | 88,3469 | 105,4708 | 116,8083 | 131,1333 | 141,7603 | 152,3089 | 176,6852 |
| 18 hr | X18 = 91% | 80,3957 | 95,9784 | 106,2956 | 104,9066 | 129,0019 | 138,6011 | 160,7835 |
| 12 hr | X12 = 80% | 70,6775 | 84,3766 | 93,4466 | 104,9066 | 113,4083 | 121,8472 | 141,3481 |
| 8 hr | X8 = 68% | 60,0759 | 71,7202 | 79,4296 | 89,1706 | 96,3970 | 103,5701 | 120,1459 |
| 6 hr | X6 = 61% | 53,8916 | 64,3372 | 71,2531 | 79,9913 | 86,4738 | 92,9085 | 107,7780 |
| 5 hr | X5 = 57% | 50,3577 | 60,1184 | 66,5807 | 74,7460 | 80,8034 | 86,8161 | 100,7105 |
| 4 hr | X4 = 52% | 45,9404 | 54,8448 | 60,7403 | 68,1893 | 73,7154 | 79,2007 | 91,8763 |
| 3 hr | X3 = 46% | 40,6396 | 48,5166 | 53,7318 | 60,3213 | 65,2098 | 70,0621 | 81,2752 |
| 2 hr | X2 = 39% | 34,4553 | 41,1336 | 45,5552 | 51,1420 | 55,2865 | 59,4005 | 68,9072 |
| 1 hr | X1 = 30% | 26,5041 | 31,6412 | 35,0425 | 39,3400 | 42,5281 | 45,6927 | 53,0055 |

Como anteriormente se describía, la duración típica de un aguacero en la región es de 1 hr, del mismo modo se ha previsto un tiempo de retorno de 50 años, lo cual arroja una precipitación máxima de 42.5281 mm, es importante aclarar que se hace la tabulación con el resto

de las duraciones y periodos de retorno para dar diferentes puntos de referencia y estimar márgenes de error en los posibles resultados.

Teniendo en cuenta los datos calculados anteriormente, se determina la intensidad de la lluvia según el periodo de retorno, a partir de la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P(mm)}{t \text{ duración (hr)}}$$

Donde:

P; es la precipitación máxima en diferentes tiempos de duración de la lluvia.

I; es la duración de la lluvia.

Cuadro 20. Intensidades de lluvia a partir de Pd, según Duración de precipitación y Frecuencia.

| Tiempo de duración | | Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno | | | | | | |
|--------------------|------|--|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| Hr | min | 2 años | 5 años | 10 años | 25 años | 50 años | 100 años | 500 años |
| 24 hr | 1440 | 3,6811 | 4,3946 | 4,8670 | 5,4639 | 5,9067 | 6,3462 | 7,3619 |
| 18 hr | 1080 | 4,4664 | 5,3321 | 5,9053 | 5,8281 | 7,1668 | 7,7001 | 8,9324 |
| 12 hr | 720 | 5,8898 | 7,0314 | 7,7872 | 8,7422 | 9,4507 | 10,1539 | 11,7790 |
| 8 hr | 480 | 7,5095 | 8,9650 | 9,9287 | 11,1463 | 12,0496 | 12,9463 | 15,0182 |
| 6 hr | 360 | 8,9819 | 10,7229 | 11,8755 | 13,3319 | 14,4123 | 15,4847 | 17,9630 |
| 5 hr | 300 | 10,0715 | 12,0237 | 13,3161 | 14,9492 | 16,1607 | 17,3632 | 20,1421 |

| Tiempo de duración | | Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno | | | | | | |
|--------------------|-----|--|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| Hr | min | 2 años | 5 años | 10 años | 25 años | 50 años | 100 años | 500 años |
| 4 hr | 240 | 11,4851 | 13,7112 | 15,1851 | 17,0473 | 18,4288 | 19,8002 | 22,9691 |
| 3 hr | 180 | 13,5465 | 16,1722 | 17,9106 | 20,1071 | 21,7366 | 23,3540 | 27,0917 |
| 2 hr | 120 | 17,2277 | 20,5668 | 22,7776 | 25,5710 | 27,6433 | 29,7002 | 34,4536 |
| 1 hr | 60 | 26,5041 | 31,6412 | 35,0425 | 39,3400 | 42,5281 | 45,6927 | 53,0055 |

6.6.4 Regresiones I.D.T.

Representación matemática de las curvas Intensidad - Duración - Período de retorno:

$$I = \frac{k \cdot T^m}{t^n}$$

En la cual:

I = Intensidad (mm/hr)

t = Duración de la lluvia (min)

T = Período de retorno (años)

K, m, n = Parámetros de ajuste

Realizando un cambio de variable:

$$d = K \cdot T^m$$

Con lo que de la anterior expresión se obtiene:

$$I = \frac{d}{t^n} \rightarrow I = d \cdot t^{-n}$$

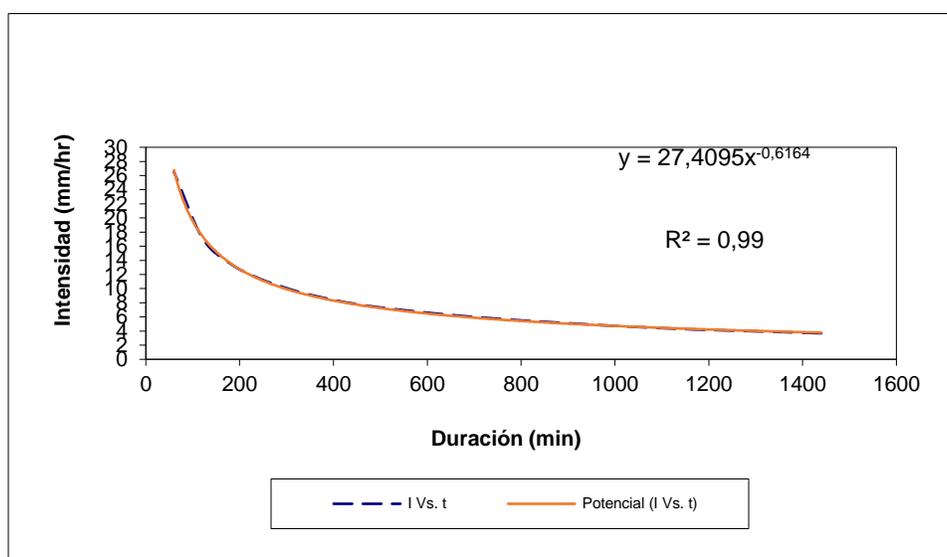
Cuadro 21. Regresión IDT para un T de 2 años.

| Periodo de retorno para T = 2 años | | | | | | |
|------------------------------------|--------|----------|----------|---------|-----------|----------|
| Nº | x | y | ln x | ln y | ln x*ln y | (lnx)^2 |
| 1 | 1440 | 3,6811 | 7,2724 | 1,3032 | 9,4775 | 52,8878 |
| 2 | 1080 | 4,4664 | 6,9847 | 1,4966 | 10,4532 | 48,7863 |
| 3 | 720 | 5,8898 | 6,5793 | 1,7732 | 11,6665 | 43,2865 |
| 4 | 480 | 7,5095 | 6,1738 | 2,0162 | 12,4474 | 38,1156 |
| 5 | 360 | 8,9819 | 5,8861 | 2,1952 | 12,9213 | 34,6462 |
| 6 | 300 | 10,0715 | 5,7038 | 2,3097 | 13,1741 | 32,5331 |
| 7 | 240 | 11,4851 | 5,4806 | 2,4411 | 13,3785 | 30,0374 |
| 8 | 180 | 13,5465 | 5,1930 | 2,6061 | 13,5335 | 26,9668 |
| 9 | 120 | 17,2277 | 4,7875 | 2,8465 | 13,6277 | 22,9201 |
| 10 | 60 | 26,5041 | 4,0943 | 3,2773 | 13,4184 | 16,7637 |
| 10 | 4980 | 109,3637 | 58,1555 | 22,2651 | 124,0981 | 346,9435 |
| Ln (d) = | 5,8111 | d = | 333,9978 | n = | -0,6164 | |

Cuadro 22. Serie T= 2 años.

| x | y |
|------|--------|
| 1440 | 3,6811 |
| 1080 | 4,4664 |
| 720 | 5,8898 |

| x | y |
|-----|---------|
| 480 | 7,5095 |
| 360 | 8,9819 |
| 300 | 10,0715 |
| 240 | 11,4851 |
| 180 | 13,5465 |
| 120 | 17,2277 |
| 60 | 26,5041 |



Gráfica 2. Regresión T=2 años.

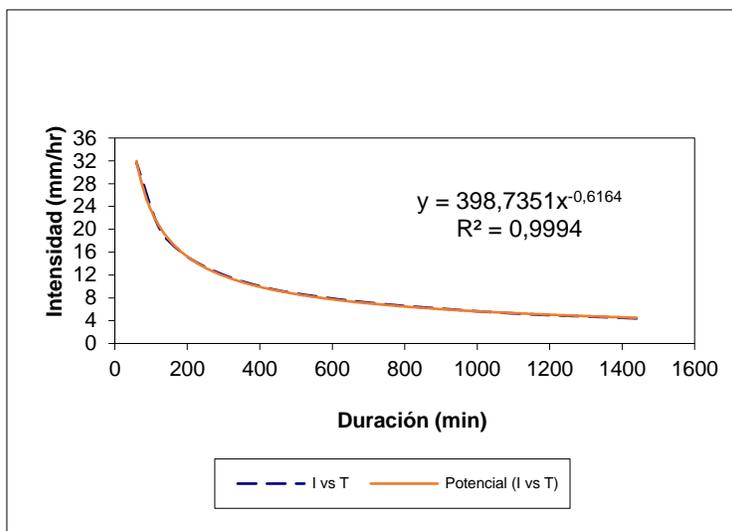
Cuadro 23. Regresión IDT para un T de 5 años.

| Periodo de retorno para T = 5 años | | | | | | |
|------------------------------------|------|--------|--------|--------|-----------|---------|
| N° | x | y | ln x | ln y | ln x*ln y | (lnx)^2 |
| 1 | 1440 | 4,3946 | 7,2724 | 1,4804 | 10,7659 | 52,8878 |
| 2 | 1080 | 5,3321 | 6,9847 | 1,6738 | 11,6907 | 48,7863 |

| Periodo de retorno para T = 5 años | | | | | | |
|------------------------------------|--------|----------|----------|---------|-----------|----------|
| N° | x | y | ln x | ln y | ln x*ln y | (lnx)^2 |
| 3 | 720 | 7,0314 | 6,5793 | 1,9504 | 12,8321 | 43,2865 |
| 4 | 480 | 8,9650 | 6,1738 | 2,1933 | 13,5412 | 38,1156 |
| 5 | 360 | 10,7229 | 5,8861 | 2,3724 | 13,9641 | 34,6462 |
| 6 | 300 | 12,0237 | 5,7038 | 2,4869 | 14,1846 | 32,5331 |
| 7 | 240 | 13,7112 | 5,4806 | 2,6182 | 14,3495 | 30,0374 |
| 8 | 180 | 16,1722 | 5,1930 | 2,7833 | 14,4535 | 26,9668 |
| 9 | 120 | 20,5668 | 4,7875 | 3,0237 | 14,4758 | 22,9201 |
| 10 | 60 | 31,6412 | 4,0943 | 3,4545 | 14,1438 | 16,7637 |
| 10 | 4980 | 130,5611 | 58,1555 | 24,0367 | 134,4011 | 346,9435 |
| Ln (d) = | 5,9883 | d = | 398,7351 | n = | -0,6164 | |

Cuadro 24. Serie T= 5 años.

| x | y |
|------|---------|
| 1440 | 4,3946 |
| 1080 | 5,3321 |
| 720 | 7,0314 |
| 480 | 8,9650 |
| 360 | 10,7229 |
| 300 | 12,0237 |
| 240 | 13,7112 |
| 180 | 16,1722 |
| 120 | 20,5668 |
| 60 | 31,6412 |



Gráfica 3. Regresión $T=5$ años.

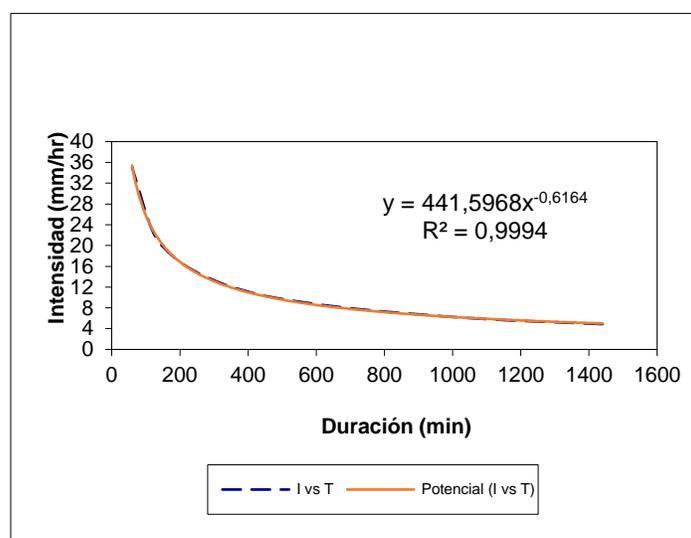
Cuadro 25. Regresión IDT para un T de 10 años.

| Periodo de retorno para $T = 10$ años | | | | | | |
|---------------------------------------|------|----------|---------|---------|-----------|--------------------|
| N° | x | y | ln x | ln y | ln x*ln y | (lnx) ² |
| 1 | 1440 | 4,8670 | 7,2724 | 1,5825 | 11,5084 | 52,8878 |
| 2 | 1080 | 5,9053 | 6,9847 | 1,7759 | 12,4038 | 48,7863 |
| 3 | 720 | 7,7872 | 6,5793 | 2,0525 | 13,5038 | 43,2865 |
| 4 | 480 | 9,9287 | 6,1738 | 2,2954 | 14,1715 | 38,1156 |
| 5 | 360 | 11,8755 | 5,8861 | 2,4745 | 14,5650 | 34,6462 |
| 6 | 300 | 13,3161 | 5,7038 | 2,5890 | 14,7670 | 32,5331 |
| 7 | 240 | 15,1851 | 5,4806 | 2,7203 | 14,9091 | 30,0374 |
| 8 | 180 | 17,9106 | 5,1930 | 2,8854 | 14,9837 | 26,9668 |
| 9 | 120 | 22,7776 | 4,7875 | 3,1258 | 14,9646 | 22,9201 |
| 10 | 60 | 35,0425 | 4,0943 | 3,5566 | 14,5618 | 16,7637 |
| 10 | 4980 | 144,5957 | 58,1555 | 25,0577 | 140,3388 | 346,9435 |

| Periodo de retorno para T = 10 años | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|-----|----------|------|-----------|---------|
| N° | x | y | ln x | ln y | ln x*ln y | (lnx)^2 |
| Ln (d) = | 6,0904 | d = | 441,5968 | n = | -0,6164 | |

Cuadro 26. Serie T= 10 años.

| x | y |
|------|---------|
| 1440 | 4,8670 |
| 1080 | 5,9053 |
| 720 | 7,7872 |
| 480 | 9,9287 |
| 360 | 11,8755 |
| 300 | 13,3161 |
| 240 | 15,1851 |
| 180 | 17,9106 |
| 120 | 22,7776 |
| 60 | 35,0425 |



Gráfica 4. Regresión $T=10$ años.

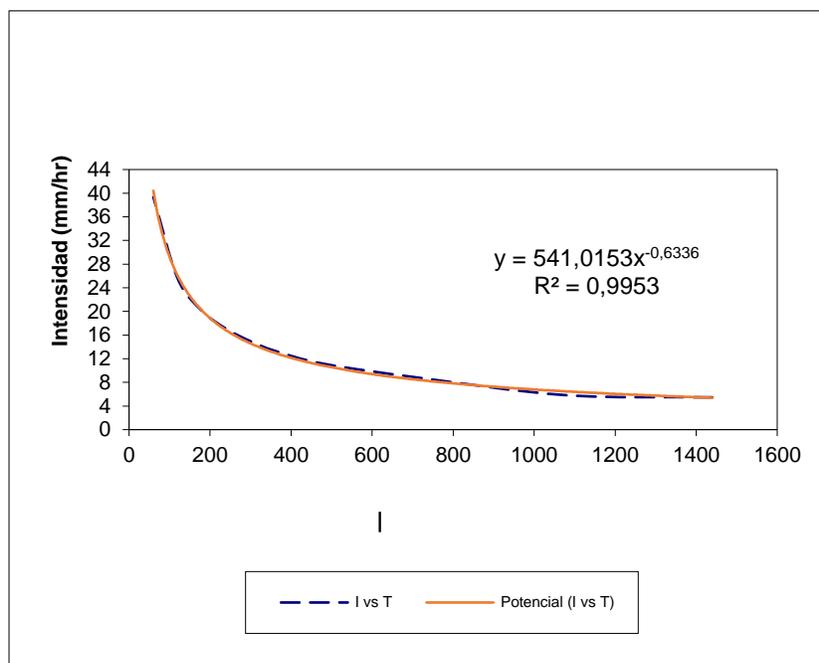
Cuadro 27. Regresión IDT para un T de 25 años.

| Periodo de retorno para T = 25 años | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|----------|----------|---------|-----------|--------------------|
| Nº | x | y | ln x | ln y | ln x*ln y | (lnx) ² |
| 1 | 1440 | 5,4639 | 7,2724 | 1,6982 | 12,3497 | 52,8878 |
| 2 | 1080 | 5,8281 | 6,9847 | 1,7627 | 12,3120 | 48,7863 |
| 3 | 720 | 8,7422 | 6,5793 | 2,1682 | 14,2649 | 43,2865 |
| 4 | 480 | 11,1463 | 6,1738 | 2,4111 | 14,8857 | 38,1156 |
| 5 | 360 | 13,3319 | 5,8861 | 2,5902 | 15,2459 | 34,6462 |
| 6 | 300 | 14,9492 | 5,7038 | 2,7047 | 15,4268 | 32,5331 |
| 7 | 240 | 17,0473 | 5,4806 | 2,8360 | 15,5431 | 30,0374 |
| 8 | 180 | 20,1071 | 5,1930 | 3,0011 | 15,5844 | 26,9668 |
| 9 | 120 | 25,5710 | 4,7875 | 3,2415 | 15,5185 | 22,9201 |
| 10 | 60 | 39,3400 | 4,0943 | 3,6722 | 15,0354 | 16,7637 |
| 10 | 4980 | 161,5270 | 58,1555 | 26,0857 | 146,1663 | 346,9435 |
| Ln (d) = | 6,2934 | d = | 541,0153 | n = | -0,6336 | |

Cuadro 28. Serie T= 25 años.

| x | y |
|------|---------|
| 1440 | 5,4639 |
| 1080 | 5,8281 |
| 720 | 8,7422 |
| 480 | 11,1463 |

| x | y |
|-----|---------|
| 360 | 13,3319 |
| 300 | 14,9492 |
| 240 | 17,0473 |
| 180 | 20,1071 |
| 120 | 25,5710 |
| 60 | 39,3400 |



Gráfica 5. Regresión T= 25 años.

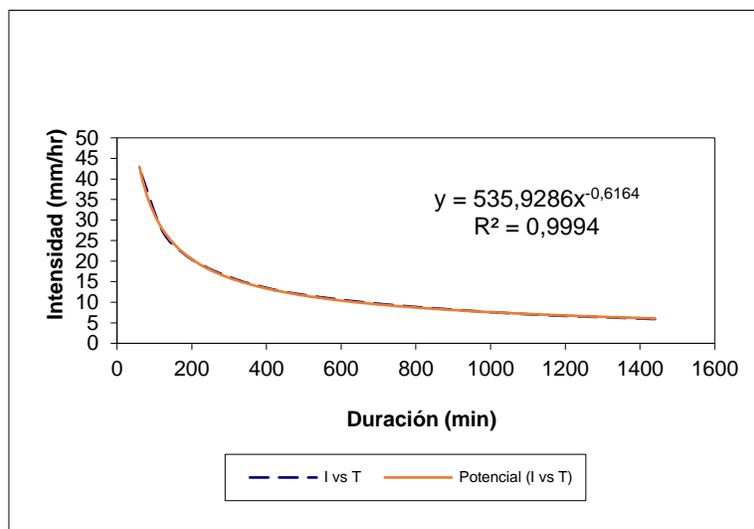
Cuadro 29. Regresión IDT para un T de 50 años.

| Periodo de retorno para T = 50 años | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|----------|----------|---------|-----------|----------|
| N° | x | y | ln x | ln y | ln x*ln y | (lnx)^2 |
| 1 | 1440 | 5,9067 | 7,2724 | 1,7761 | 12,9164 | 52,8878 |
| 2 | 1080 | 7,1668 | 6,9847 | 1,9695 | 13,7561 | 48,7863 |
| 3 | 720 | 9,4507 | 6,5793 | 2,2461 | 14,7776 | 43,2865 |
| 4 | 480 | 12,0496 | 6,1738 | 2,4890 | 15,3668 | 38,1156 |
| 5 | 360 | 14,4123 | 5,8861 | 2,6681 | 15,7046 | 34,6462 |
| 6 | 300 | 16,1607 | 5,7038 | 2,7826 | 15,8712 | 32,5331 |
| 7 | 240 | 18,4288 | 5,4806 | 2,9139 | 15,9701 | 30,0374 |
| 8 | 180 | 21,7366 | 5,1930 | 3,0790 | 15,9891 | 26,9668 |
| 9 | 120 | 27,6433 | 4,7875 | 3,3194 | 15,8915 | 22,9201 |
| 10 | 60 | 42,5281 | 4,0943 | 3,7502 | 15,3545 | 16,7637 |
| 10 | 4980 | 175,4836 | 58,1555 | 26,9938 | 151,5979 | 346,9435 |
| Ln (d) = | 6,2840 | d = | 535,9286 | n = | -0,6164 | |

Cuadro 30. Serie T=50 años.

| x | y |
|------|---------|
| 1440 | 5,9067 |
| 1080 | 7,1668 |
| 720 | 9,4507 |
| 480 | 12,0496 |
| 360 | 14,4123 |
| 300 | 16,1607 |
| 240 | 18,4288 |

| | |
|-----|---------|
| 180 | 21,7366 |
| 120 | 27,6433 |
| 60 | 42,5281 |



Gráfica 6. Regresión $T= 50$ años.

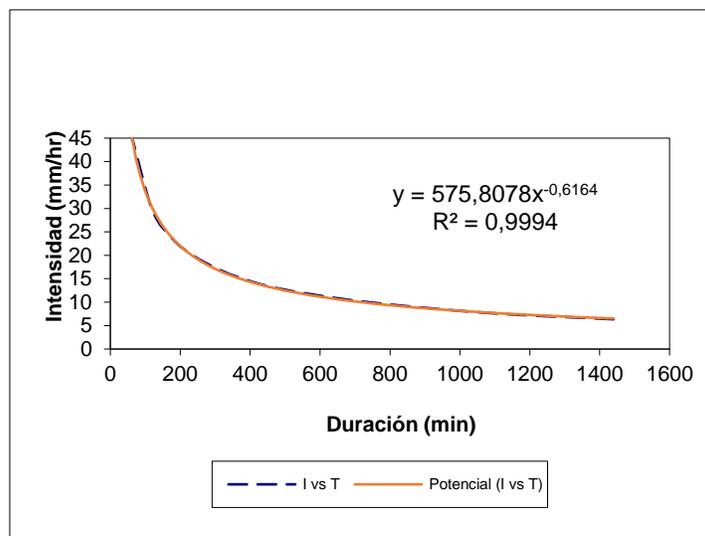
Cuadro 31. Regresión IDT para un T de 100 años.

| Periodo de retorno para $T = 100$ años | | | | | | |
|--|------|---------|--------|--------|-----------|---------|
| N° | x | y | ln x | ln y | ln x*ln y | (lnx)^2 |
| 1 | 1440 | 6,3462 | 7,2724 | 1,8479 | 13,4384 | 52,8878 |
| 2 | 1080 | 7,7001 | 6,9847 | 2,0412 | 14,2574 | 48,7863 |
| 3 | 720 | 10,1539 | 6,5793 | 2,3179 | 15,2498 | 43,2865 |
| 4 | 480 | 12,9463 | 6,1738 | 2,5608 | 15,8099 | 38,1156 |
| 5 | 360 | 15,4847 | 5,8861 | 2,7399 | 16,1271 | 34,6462 |
| 6 | 300 | 17,3632 | 5,7038 | 2,8544 | 16,2806 | 32,5331 |
| 7 | 240 | 19,8002 | 5,4806 | 2,9857 | 16,3635 | 30,0374 |

| Periodo de retorno para T = 100 años | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|----------|----------|---------|-----------|----------|
| N° | x | y | ln x | ln y | ln x*ln y | (lnx)^2 |
| 8 | 180 | 23,3540 | 5,1930 | 3,1508 | 16,3618 | 26,9668 |
| 9 | 120 | 29,7002 | 4,7875 | 3,3912 | 16,2351 | 22,9201 |
| 10 | 60 | 45,6927 | 4,0943 | 3,8219 | 15,6483 | 16,7637 |
| 10 | 4980 | 188,5416 | 58,1555 | 27,7115 | 155,7719 | 346,9435 |
| Ln (d) = | 6,3558 | d = | 575,8078 | n = | -0,6164 | |

Cuadro 32. Serie T= 100 años.

| x | y |
|------|---------|
| 1440 | 6,3462 |
| 1080 | 7,7001 |
| 720 | 10,1539 |
| 480 | 12,9463 |
| 360 | 15,4847 |
| 300 | 17,3632 |
| 240 | 19,8002 |
| 180 | 23,3540 |
| 120 | 29,7002 |
| 60 | 45,6927 |



Gráfica 7. Regresión I vs T para un periodo de retorno de 100 años.

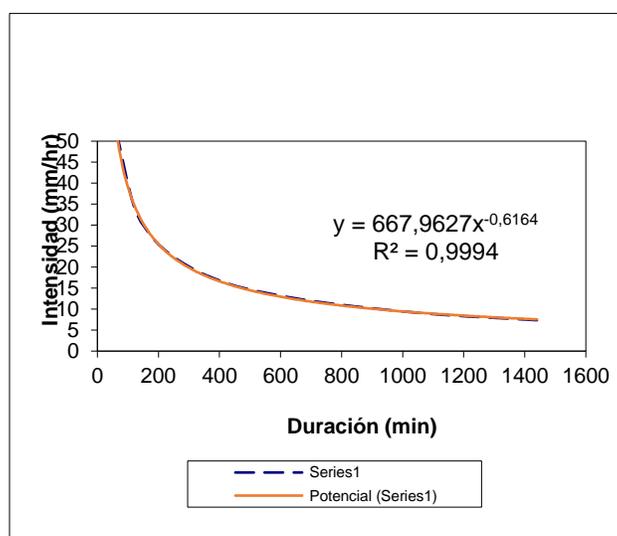
Cuadro 33. Regresión IDT para un T de 500 años.

| Periodo de retorno para T = 500 años | | | | | | |
|--------------------------------------|------|----------|---------|---------|-----------|----------|
| Nº | x | y | ln x | ln y | ln x*ln y | (lnx)^2 |
| 1 | 1440 | 7,3619 | 7,2724 | 1,9963 | 14,5180 | 52,8878 |
| 2 | 1080 | 8,9324 | 6,9847 | 2,1897 | 15,2943 | 48,7863 |
| 3 | 720 | 11,7790 | 6,5793 | 2,4663 | 16,2265 | 43,2865 |
| 4 | 480 | 15,0182 | 6,1738 | 2,7093 | 16,7264 | 38,1156 |
| 5 | 360 | 17,9630 | 5,8861 | 2,8883 | 17,0009 | 34,6462 |
| 6 | 300 | 20,1421 | 5,7038 | 3,0028 | 17,1274 | 32,5331 |
| 7 | 240 | 22,9691 | 5,4806 | 3,1341 | 17,1771 | 30,0374 |
| 8 | 180 | 27,0917 | 5,1930 | 3,2992 | 17,1328 | 26,9668 |
| 9 | 120 | 34,4536 | 4,7875 | 3,5396 | 16,9459 | 22,9201 |
| 10 | 60 | 53,0055 | 4,0943 | 3,9704 | 16,2562 | 16,7637 |
| 10 | 4980 | 218,7166 | 58,1555 | 29,1961 | 164,4055 | 346,9435 |

| Periodo de retorno para T = 500 años | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|-----|----------|------|-----------|---------|
| N° | x | y | ln x | ln y | ln x*ln y | (lnx)^2 |
| Ln (d) = | 6,5042 | d = | 667,9627 | n = | -0,6164 | |

Cuadro 34. Serie T= 500 años.

| x | y |
|------|---------|
| 1440 | 7,3619 |
| 1080 | 8,9324 |
| 720 | 11,7790 |
| 480 | 15,0182 |
| 360 | 17,9630 |
| 300 | 20,1421 |
| 240 | 22,9691 |
| 180 | 27,0917 |
| 120 | 34,4536 |
| 60 | 53,0055 |



Gráfica 8. Regresión T=500 años.

Cuadro 35. Resumen de regresiones.

| Resumen de aplicación de regresión potencial | | |
|--|-------------------------------|------------------------|
| Periodo de Retorno (años) | Término cte. De regresión (d) | Coef. De regresión [n] |
| 2 | 333,99778794165 | -0,61638608809 |
| 5 | 398,73505384396 | -0,61638608809 |
| 10 | 441,59675684669 | -0,61638608809 |
| 25 | 541,01527878692 | -0,63362500463 |
| 50 | 535,92855425803 | -0,61638608809 |
| 100 | 575,80782359937 | -0,61638608809 |
| 500 | 667,96272716618 | -0,61638608809 |
| Promedio = | 499,29199749183 | -0,61884879045 |

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación:

$$d = k.T^m$$

Término constante de regresión (K) = 327,9212

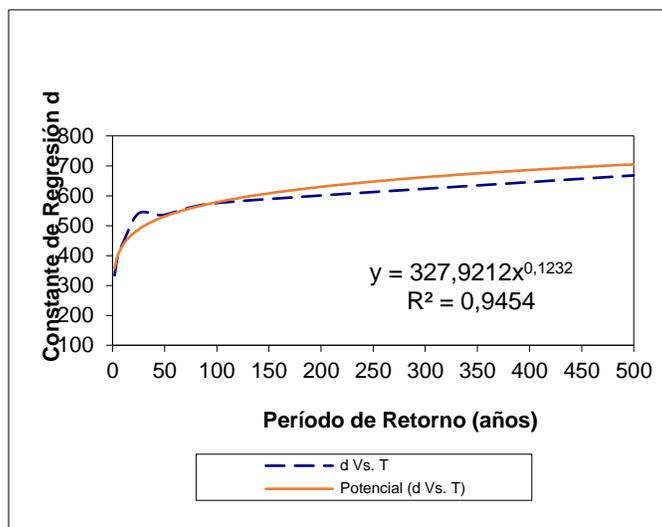
Coef. de regresión (m) = 0,123155

Cuadro 36. Regresión Potencial.

| N° | x | y | ln x | ln y | ln x*ln y | (lnx)^2 |
|----------|--------|-----------|----------|---------|-----------|---------|
| 1 | 2 | 333,9978 | 0,6931 | 5,8111 | 4,0280 | 0,4805 |
| 2 | 5 | 398,7351 | 1,6094 | 5,9883 | 9,6378 | 2,5903 |
| 3 | 10 | 441,5968 | 2,3026 | 6,0904 | 14,0237 | 5,3019 |
| 4 | 25 | 541,0153 | 3,2189 | 6,2934 | 20,2578 | 10,3612 |
| 5 | 50 | 535,9286 | 3,9120 | 6,2840 | 24,5832 | 15,3039 |
| 6 | 100 | 575,8078 | 4,6052 | 6,3558 | 29,2694 | 21,2076 |
| 7 | 500 | 667,9627 | 6,2146 | 6,5042 | 40,4213 | 38,6214 |
| 7 | 692 | 3495,0440 | 22,5558 | 43,3273 | 142,2211 | 93,8667 |
| Ln (K) = | 5,7928 | K = | 327,9212 | m = | 0,1232 | |

Cuadro 37. Series regresión potencial.

| x | y |
|-----|----------|
| 2 | 333,9978 |
| 5 | 398,7351 |
| 10 | 441,5968 |
| 25 | 541,0153 |
| 50 | 535,9286 |
| 100 | 575,8078 |
| 500 | 667,9627 |



Gráfica 9. Regresión potencial.

6.6.5 Curvas I.D.F.

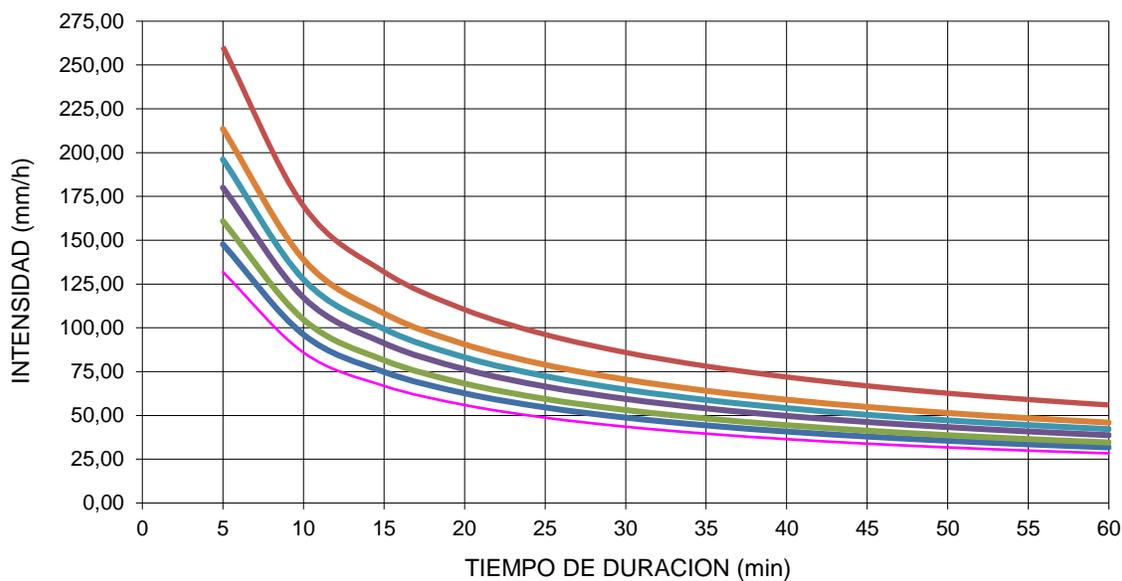
La ecuación de intensidad válida para el área del proyecto resulta:

$$I = \frac{327.9212 * T^{0.123155}}{t^{0.61885}}$$

Cuadro 38. Tabla de intensidades y tiempo de duraciones.

| Frecuencia | Duración en minutos | | | | | | | | | | | | |
|------------|---------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Años | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| 2 | | 131,91 | 85,90 | 66,84 | 55,94 | 48,72 | 43,52 | 39,56 | 36,43 | 33,87 | 31,73 | 29,91 | 28,34 |
| 5 | | 147,67 | 96,16 | 74,82 | 62,62 | 54,54 | 48,72 | 44,29 | 40,78 | 37,91 | 35,52 | 33,48 | 31,73 |
| 10 | | 160,83 | 104,73 | 81,49 | 68,20 | 59,40 | 53,07 | 48,24 | 44,41 | 41,29 | 38,68 | 36,47 | 34,56 |

| Frecuencia | Duración en minutos | | | | | | | | | | | |
|------------|---------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Años | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| 25 | 180,04 | 117,24 | 91,22 | 76,35 | 66,50 | 59,40 | 54,00 | 49,72 | 46,22 | 43,30 | 40,82 | 38,68 |
| 50 | 196,09 | 127,69 | 99,35 | 83,15 | 72,43 | 64,70 | 58,81 | 54,15 | 50,34 | 47,16 | 44,46 | 42,13 |
| 100 | 213,56 | 139,07 | 108,21 | 90,56 | 78,88 | 70,46 | 64,05 | 58,97 | 54,83 | 51,37 | 48,42 | 45,89 |
| 500 | 260,38 | 169,56 | 131,93 | 110,41 | 96,17 | 85,91 | 78,09 | 71,90 | 66,85 | 62,63 | 59,04 | 55,94 |



Gráfica 10. Curvas IDF del área de influencia.

6.7 Caudal de diseño

De acuerdo con el artículo 135 del RAS 2017 es válido utilizar el Método Racional puesto que el área de drenaje del sistema es menor a 80 ha. De no ser así se tendría que utilizar otro

método lluvia escorrentía debidamente justificado. El área de captación dada por los techos del bloque educativo y el auditorio de la Ucundinamarca Seccional Girardot cubre un área de 0.16943 Ha, por lo cual el método en mención aplica para el cálculo del caudal de diseño,

6.8 Método racional

Como ya se mencionó, los caudales de diseño para áreas de drenaje hasta de 80 ha se obtendrán a partir del Método Racional.

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Q: Caudal (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad de lluvias (mm/hr)

A: Área (Ha).

6.9 Definición de áreas de captación

De acuerdo con el plano topográfico de la Ucundinamarca seccional Girardot, las áreas de los techos de los bloques y dependencias cubren un área de 2788.1 m², de acuerdo con la tabla N° 24. Por la complejidad en pendientes y longitudes del predio de la seccional, el sistema propuesto de captación de aguas lluvias solo contará con los techos del auditorio y el bloque educativo, estos techos comprenden un 60% del área total de techos, y la conducción y almacenamiento de

las aguas captadas se ejecutaría de una forma dinámica no tan compleja ni costosa para la Seccional.

Cuadro 39. Relación áreas de techos y cubiertas.

| Unidad | | Área M ² | % Área |
|--------|--------------------|---------------------|--------|
| 1 | Auditorio | 384,00 | 13,77 |
| 2 | Ed. Educativo | 1310,30 | 47,00 |
| 3 | Lab. Enfermería | 208,08 | 7,46 |
| 4 | Ed. Administrativo | 490,12 | 17,58 |
| 5 | Lab. De Aguas | 142,02 | 5,09 |
| 6 | Cafetería Orland | 144,06 | 5,17 |
| 7 | Porteria | 12,22 | 0,44 |
| 8 | Fotocopiadora | 65,31 | 2,34 |
| 9 | Unidad Amigable | 32,02 | 1,15 |
| Total | | 2788,1 | 100,0 |

Los techos seleccionados para la captación presentan escurrimiento a dos aguas, con cubiertas en tejas española o teja de barro.

Cuadro 40. Aplicación Método Racional.

| Detalle | Valor | Unidad |
|-----------------------------|--------|-------------------|
| Coefficiente De Escorrentía | 0,85 | - |
| Intensidad | 42,13 | Mm/Hr |
| Área De Drenaje | 0,169 | Ha |
| Caudal | 0,0169 | M ³ /S |

De acuerdo con lo anterior aplicando una intensidad de 42.13 mm/hr hallados por el método de Curvas IDF, para un área de 0.16943 Ha con un coeficiente de escorrentía de 0.85, se determinó un caudal de diseño o lluvia de diseño de 13.9 l/s ó 0.0139 m³/s

6.10 Definición de conducciones

6.10.1 Canaletas y bajantes.

El agua captada por los techos será recolectada y conducida por 297.8 metros lineales de canaletas dispuesto en los bordes de las cubiertas o techos de captación y 50 bajantes que conducirán el agua recogida por las canaletas, distribuidas cada seis metros, es decir, que de acuerdo con la estructura del sistema actual por cada seis metros de canaleta habrá una conexión a una bajante. Se recomienda el uso de canales y bajantes en PVC de alta capacidad o Amazona la cual cuenta con crestas triangulares interiores que impiden que las hojas y la mugre se adhieran al canal, evitando así que se atasquen, con uniones rápidas que no gotean, se ajustan

manualmente y no requieren soldaduras ni selladores y la instalación de su soporte es fácil y práctica. Estas canales tendrán una pendiente de 2 cm/m para dar un flujo óptimo. Y de acuerdo con la estructura del sistema actual por cada seis metros de canaletas se necesitará una bajante que conducirá el agua a las cajas de inspección existentes.

Para garantizar un funcionamiento óptimo de las canaletas es necesario la estimación del tiempo de concentración en las mismas, que está determinado por el tiempo de inicio de la precipitación hasta que el escurrimiento sobre los canales donde finaliza.

$$T_C = T_e + T_t$$

$$t_e = \frac{1}{i^{0.4}} \left(\frac{n * L_C}{\sqrt{S}} \right)^{0.6}$$

Donde:

Te: tiempo de entrada

I: intensidad de lluvia (m/s)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

Lc: Longitud del techo (m)

S: pendiente adimensional

$$t_e = \frac{1}{\left[(42.13 \text{ mm/hr}) \left(\frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} \right) \left(\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right) \right]^{0.4}} \left(\frac{0.011 * 6.20}{\sqrt{0.02}} \right)^{0.6}$$

$$t_e = 60.29 \text{ s.}$$

$$t_t = 1.7517 \frac{0.817 + 0.154(e^{fd})^{1.62}}{(fd^2i)^{1/3}}$$

Donde:

Tt: tiempo de recorrido (s)

L: longitud del canal (m)

Fd: Numero de Froude

De esta manera, para calcular el Numero de Froude necesita estimar el tirante que cumpla con la siguiente condición:

$$y \leq D/2$$

$$y = \left(\frac{7500 Q}{D} \right)^{2/3}$$

Donde:

D: Diámetro (mm)

Q: caudal (l/s)

$$y = \left(\frac{7500 * 0.35 \text{ l/s}}{63} \right)^{2/3} = 11.79 \text{ mm}$$

$11.79 \text{ mm} \leq D/2$ -- cumple con la condición

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{(3.5x^{-4})^2}{0.2m^2 * 9.81 m/s^2}} = 0.0087 \text{ m} = 8.7 \text{ mm}$$

$$fd = \left(\frac{8.7mm}{11.79 mm} \right)^{2/3} = 0.73$$

Según (Chow, 1956) para canales abiertas el Numero de Froude debe oscilar entre 0.5 y 1.0, con la aplicación de la ecuación anterior se demuestra que se cumplen las condiciones óptimas de flujo en la estructura.

$$t_t = 1.7517 \frac{0.817 + 0.154(e^{0.73})^{1.62}}{(0.73^2 * 1.17x10^{-5})^{1/3}} = 120.66 \text{ s}$$

$$T_c = T_e + T_t$$

$$T_c = 60.29 \text{ s} + 120.66 \text{ s} = 180.95 \text{ s} \text{ ó } 3.01 \text{ min}$$

De acuerdo con lo anterior el sistema cumple con las condiciones hidráulicas de flujo de agua por las canaletas, puesto que para periodos de retorno de 5 años a 50 años se recomienda un tiempo de concentración de 2 minutos a 5 minutos, siendo 5 el resultado obtenido se afirma que su capacidad hidráulica será la adecuada. El correcto funcionamiento del sistema depende intrínsecamente de la Universidad de Cundinamarca quien debe adoptar las condiciones

(pendiente, tipo de canal, distancia entre bajantes, diámetros) anteriormente calculadas y/o estimadas.

Las bajantes contarán con un radio hidráulico de 4 in, de acuerdo con el diseño actual de canaletas que permite el desfogue de las aguas captadas de forma eficaz y al siguiente cuadro; donde dimensionan el diámetro de la bajante en función al área de cubierta o captación Citado por Martínez Martínez, S.I. en el artículo Diseño Hidrológico e hidráulico del drenaje pluvial de cubiertas y edificaciones, el cual aplica al dimensionamiento de las bajantes del sistema puesto que esta formulada para periodos de retorno mayores a 5 años y menores a 50 años y tiempos de concentración mayores a 2 minutos y menores a 5 minutos. En este caso el área de techos es de 1694.3 m² y el total de bajantes es de 50 unidades, dando una relación área cubierta/bajante igual a 33.88; es decir que se encuentra en el rango de diámetro de 3 mm, no obstante, por condiciones de construcción y dar mayor eficiencia al proceso de drenaje y mantenimiento se toma un diámetro de 4 in, lo cual representa mayor capacidad para el sistema.

| DIÁMETRO (mm) | ÁREA MINIMA (mm) | ÁREA MAXIMA (m ²) |
|------------------|------------------------|-------------------------------------|
| 50 | 15 | 33 |
| 63 | 28 | 62 |
| 75 | 45 | 98 |
| 100 | 97 | 212 |
| 125 | 177 | 386 |
| 150 | 288 | 628 |
| 200 | 622 | 1355 |

Para:

$2 \text{ min} \geq T_c \leq 5 \text{ Min}$
 $5 \text{ años} \geq T_r \leq 50 \text{ años}$

Tomado de: Martínez Martínez, S.I. 2000

6.10.2 Cajas de inspección y colectores.

El sistema actual cuenta con 16 cámaras destinada para la inspección y limpieza de la tubería de recolección, cuentan con una rejilla de entrada de agua esorrentía, ubicadas en los pasillos de la primera planta del bloque educativo, estas vierten sus aguas al alcantarillado sanitario, se tiene que hacer un Re-empalme desde la caja final hasta el tanque de almacenamiento con una tubería o colectores con las siguientes especificaciones

Cuadro 41. Estimación diámetro de colectores

| Cálculo del diámetro $\Phi = 1,548 * \left(\frac{n * Q}{S^{0.5}}\right)^{3/8}$ | | | | |
|--|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| coeficiente de rugosidad de Manning (n) | caudal a tubo lleno (Q) | pendiente de la tubería (S) | Resultado en metros (m) | Resultado en pulgadas (in) |
| 0,01 | 0,016827675 | 0,02 | 0,1 | 4,9 |

Con la aplicación de la ecuación de Manning para estimación de diámetros en tuberías se obtiene un diámetro de 4.9 in, se debe de pasar al diámetro comercial directamente superior, es decir, para nuestro caso se debe usar una tubería de conducción del agua pluvial desde la caja final hasta el tanque de almacenamiento de 6 in.

6.11 Almacenamiento

Teniendo un caudal o lluvia de diseño de $0.01682 \text{ m}^3/\text{s}$, estimando lluvias con duración de una hora y efectos de escurrimiento de una hora, el volumen del tanque estará dado por la siguiente expresión:

$$V = Q * T$$

$$V_{\text{efectivo}} = 0.01682 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} \right) (2.0 \text{ hr}) = 121.104 \text{ m}^3$$

El anterior volumen es, el volumen efectivo dentro de la estructura del tanque de almacenamiento, es decir, representa el 75% del volumen del tanque, para hallar el volumen real se debe

$$V_{\text{Real}} = \frac{121.104 \text{ m}^3}{0.75} = 161.47 \text{ m}^3$$

6.11.1 Dimensionamiento de volumen del Tanque.

Asumiendo una profundidad de 2.5 m, se calcula el área del tanque:

$$H = 3.0m$$

$$A = \frac{V}{H}$$

$$A = \frac{161.47 m^3}{3.0 m} = 53.82 m^2$$

Se asume una relación L/B = 2

$$B = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$B = \sqrt{\frac{53.82m^2}{2}} = 5.1 m$$

Por lo tanto, L:

$$L = 2 * B$$

$$L = 2 * 5.1 m = 10.37 m$$

El tanque de almacenamiento será ubicado en el espacio entre el auditorio y el bloque educativo, por cumplir con las especificaciones de dimensiones requeridas anteriormente, este es

subterráneo para que el espacio siga prestando el servicio de pasillo para estudiantes, este espacio fue elegido también proyectando que en el tiempo de construcción no dificulte significativamente las actividades académicas y rutinarias de la comunidad udecina.

6.12 Uso del agua

El predio de la Seccional cuenta con una amplia oferta de flora, donde se evidencia presencia de especies nativas y foráneas las cuales conforman las zonas verdes. La tabla N°26, presenta la consigna del área de riego seleccionada son las zonas verdes contiguas a los bloques usados para la captación del agua, como estrategia para la reducción de costos en impulsión del riego

Cuadro 42. Determinación áreas de riego

| Áreas zonas verdes (m ²) | |
|--------------------------------------|--------|
| Jatropha | 496 |
| Moringa | 499 |
| Monumento | 56 |
| Auditorio | 34 |
| Carretera | 349 |
| Jardín plazoleta | 57,03 |
| | 139,17 |
| | 54 |

| Áreas zonas verdes (m ²) | |
|--------------------------------------|---------|
| | 73 |
| | 106,13 |
| | 73 |
| Parqueadero | 115,3 |
| Total | 2051,63 |

De acuerdo con el plano topográfico de la seccional, para riego de las zonas verdes se ha proyectado un sistema de riego por ramales con diámetros de una pulgada, con una longitud total de 217,33 m con. De acuerdo con el apartado de estimación de consumos de la NTC 1500 del 2004 Código Colombiano de Fontanería se consideró que la dotación diaria es igual a 2 Litros/m², valor equivalente a 2 mm de lámina de agua.

6.13 Diseño de impulsión

Para un caudal de 0.01693 m³/s, Se verifica con un diámetro de una pulgada, para establecer si cumple con la velocidad, bajo la siguiente expresión:

$$2 \text{ m/s} > V > 0,6 \text{ m/s}$$

$$\text{Ø (1 in)} \rightarrow v = \frac{Q}{\left(\frac{\pi}{4}\right)(\text{Ø})(0.0254 \text{ m/m})}$$

| | | |
|----------|---|----|
| Diámetro | 1 | in |
|----------|---|----|

| | | |
|-----------|--------|-------------------|
| Caudal | 0,0169 | m ³ /s |
| Velocidad | 0,849 | m/s |

Lo anterior demuestra que el diámetro de 1 pulgada, cumple con el rango requerido de velocidad para la impulsión del agua.

Se calcula la Cabeza Dinámica Tota (CDT)

$$CDT = h_e + h_f$$

Donde:

h_e : Cabeza estática total

h_f : Perdidas por fricción

$$h_f = (J)(L)$$

Donde

J: Perdidas unitarias

L: longitud

$$J = \left(\frac{Q \left(\frac{L}{S} \right)}{(280)(C)(\emptyset)^{2,63}} \right)^{1,85}$$

$$J= 8,536616E-05 \text{ m/m}$$

Para el cálculo de la longitud se toman:

- ❖ Longitud total de la tubería
- ❖ La equivalencia de los accesorios en m

Cuadro 43. Perdida en accesorios

| Accesorio | Diámetro (In) | Cant | Perdidas Uni(M) | Pérdida Total |
|--------------|---------------|------|-----------------|---------------|
| Codos | 1 | 7 | 1,25 | 8,75 |
| T | 1 | 6 | 1,5 | 9 |
| Cheque | 1 | 1 | 10 | 10 |
| Valv Pas Dto | 1 | 1 | 0,401 | 0,401 |
| Total | | | | 28,151 |

En la tabla N° 27 están relacionados los accesorios necesarios para el sistema de riego propuesto con sus respectivas perdidas, el cual posee una longitud en conducciones de 217.73 m

$$HF= LA+L*Q$$

$$HF= 28.151 \text{ m}+ 217.73 \text{ m} * 0.01693 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HF= 3.40 \text{ M}$$

Para estimar la cabeza estática total, se toma la diferencia de cotas entre el punto inicial de riego y el punto más alto. Para nuestro caso se toma la diferencia de cotas entre la salida del tanque de almacenamiento y el punto más alto de la universidad para dar una impulsión eficiente y lograr que la bomba trabaje forzada.

$$H_e = 298.5 \text{ m} - 288.5 \text{ m}$$

$$H_e = 10 \text{ m}$$

$$CDT = h_e + h_f$$

$$CDT = 10 \text{ m} + 3.4 \text{ m} = 13.4 \text{ m}$$

Estimación de la potencia de bombeo:

$$P = \frac{(\gamma)(Q)(CDT)}{(76)(0.65)}$$

Donde:

- ❖ P= Potencia
- ❖ γ = Densidad de agua ($\gamma = 1$)
- ❖ Q= Caudal De diseño (L/s)
- ❖ CDT= Cabeza dinámica total (m)
- ❖ n= Eficiencia (n=0.65)

$$P = \frac{(1) \left(\frac{16.9 \text{ l}}{\text{s}} \right) (13.4 \text{ m})}{(76)(0.65)} = 4.7 \text{ HP}$$

Según lo anterior el sistema requiere una bomba de 4.7 Hp, para dar riego a las zonas verdes mencionadas anteriormente, por ende, es recomendable usar una bomba de 5 Hp por cuestiones comerciales.

Cuadro 44. Presupuesto de ejecución.

| PROPUESTA ECONOMICA | | | | | |
|---------------------|---|-------------------|----------|--------------|-----------------------|
| Item | Descripción | Unidad | Cantidad | Vr/Unitario | Vr/Final |
| 1 | Canaletas | | | | |
| 1,1 | Canal amazonas tramos de 3mt blanco | und | 92,0 | \$ 80.421 | \$ 7.398.732 |
| 1,2 | Conexiones canal amazonas | | | | |
| 1,2,1 | Union canal | und | 45 | \$ 15.672 | \$ 705.240 |
| 1,2,2 | Union canal a bajante amazonas | und | 48 | \$ 21.139 | \$ 1.014.672 |
| 1,2,3 | Soporte canal | und | 70 | \$ 2.782 | \$ 194.740 |
| 1,2,4 | Soporte M Canal amazonas | und | 48 | \$ 7.723 | \$ 370.704 |
| 1,2,5 | Union esquinas interior | und | 2 | \$ 26.613 | \$ 53.226 |
| 1,2,6 | Tapa interior izquierda | und | 2 | \$ 4.823 | \$ 9.646 |
| 1,2,7 | Tapa interior derecha | und | 2 | \$ 4.866 | \$ 9.732 |
| 1,2,8 | Tapa exterior derecha | und | 6 | \$ 7.623 | \$ 45.738 |
| 1,2,9 | Tapa exterior izquierda | und | 6 | \$ 7.623 | \$ 45.738 |
| 1,3 | Bajantes | | | | |
| 1,3,1 | Bajjante tramos de 3 metros extremos lisos blanca | und | 170 | \$ 65.058 | \$ 11.059.860 |
| 1,4 | Conexiones de bajantes | | | | |
| 1,4,1 | Codo de bajante 90° | und | 0 | \$ 6.685 | \$ 0 |
| 1,4,2 | Codo de bajante de 45° | und | 48 | \$ 5.741 | \$ 275.568 |
| 1,4,3 | Soporte de bajante | und | 192 | \$ 2.152 | \$ 413.184 |
| 1,4,4 | Union de bajante | und | 96 | \$ 4.066 | \$ 390.336 |
| 1,4,5 | Adaptador de bajnte | und | 48 | \$ 5.932 | \$ 284.736 |
| 1,4,6 | Lubricante de silicona | und | 8 | \$ 4.846 | \$ 38.768 |
| 1,4,7 | Tornillo inoxidable (pqte 25und) | und | 16 | \$ 164 | \$ 2.624 |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 22.313.244 |
| 2,1 | Tanque de almacenamiento | | | | |
| 2,1,1 | Limpieza de terreno | m2 | 53,8 | \$ 3.500 | \$ 188.370 |
| 2,1,2 | Trazado y replanteo | m2 | 60 | \$ 2.700 | \$ 162.000 |
| 2,1,3 | Movimiento de tierra | m3 | 80 | \$ 18.000 | \$ 1.440.000 |
| 2,1,4 | Excavación de tierra | m3 | 161,3 | \$ 22.000 | \$ 3.548.600 |
| 2,1,5 | Reconformación del terreno | m2 | 53,83 | \$ 14.800 | \$ 796.684 |
| 2,1,6 | Relleno compactado con material mejorado | m3 | 40 | \$ 18.300 | \$ 732.000 |
| 2,1,7 | Desalojo de material | m3 | 69 | \$ 21.800 | \$ 1.504.200 |
| 2,2 | Obra civil | | | | |
| 2,2,1 | Concreto de baja permeabilidad para elevacion de 4000 | m3 | 53,1 | \$ 580.000 | \$ 30.809.600 |
| 2,2,2 | Acero de refuerzo de 60000Psi | kg | 1621,2 | \$ 2.700 | \$ 4.377.240 |
| 2,2,3 | Concreto de limpieza e=10cm | m3 | 5,83 | \$ 380.000 | \$ 2.215.400 |
| 2,2,4 | Relleno en recebo compactado | m3 | 16,149 | \$ 63.000 | \$ 1.017.387 |
| 2,2,5 | Mortero de baja permeabilidad 4000Psi | m2 | 8,07 | \$ 22.000 | \$ 177.540 |
| 2,2,6 | Mortero con base en cemento y polimeros modificado, biocomponente de baja permeabilidad | m2 | 24,21 | \$ 30.000 | \$ 726.300 |
| 2,2,7 | Cinta flexible para sello de junta A=15cm | ml | 74,72 | \$ 28.000 | \$ 2.092.160 |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 49.787.481 |
| 3,1 | sistema de impulsión | | | | |
| 3,1,1 | Motobomba de 5 Hp tipo industrial | und | 1,0 | \$ 4.871.000 | \$ 4.871.000 |
| 3,1,2 | Automatizacion general integrada | - | 1 | \$ 2.867.000 | \$ 2.867.000 |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 7.738.000 |
| 4,1 | Sistema de riego | | | | |
| 3,1,1 | tuberia 1 in PVC Tramos de 6 m | und | 94,0 | \$ 8.400 | \$ 789.600 |
| 3,1,2 | Codos | und | 7 | \$ 950 | \$ 6.650 |
| 2,2,3 | Empalme T | und | 6 | \$ 1.150 | \$ 6.900 |
| 2,2,4 | Cheque | und | 1 | \$ 17.840 | \$ 17.840 |
| 2,2,5 | Valvula de paso dto | und | 1 | \$ 39.520 | \$ 39.520 |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 860.510 |
| SUBTOTAL | | | | | \$ 80.699.235 |
| 3 | AIU | Porcentaje | | | Vr/Final |
| 3,1 | Administracion | 12% | | | \$ 5.974.498 |
| 3,2 | imprevistos | 6% | | | \$ 2.987.249 |
| 3,3 | urgencias | 6% | | | \$ 2.987.249 |
| total | | | | | \$ 159.632.731 |

La relación de precios expuesta en el anterior cuadro está sujeta a la fluctuación de precios de los materiales en el mercado, siendo estos muy variables.

6.14 Análisis costo- beneficio

Partiendo desde la finalidad del diseño del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias que es reducir el uso de agua potable en irrigación zonas verdes, el lavado de implementos de aseo del plantel educativo, a su vez, la reducción de costos en el pago del servicio público de acueducto. Se requirió la información de consumos promedio y pagos que realizó la universidad en sus últimos periodos, para poder determinar la demanda de agua que requiere la UCundinamarca versus la oferta de agua lluvia, que aproximadamente se podría brindar mediante la operación del sistema planteado, para el aprovechamiento en el desarrollo de actividades que requieran agua, pero no necesariamente potable. Así que se consolidó una base de datos donde se determinaron los valores máximos y mínimos de consumo en determinados periodos de tiempo, así mismo se plantearon las posibles alternativas para el ahorro y eficiente en agua potable, contemplando entre las mismas, la propuesta de implementación del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias.

A continuación, se presenta el compendio de los consumos en m^3 y el valor que ha venido pagando la universidad por este servicio durante los años 2015-2016-2017 hasta el 2018.

Cuadro 45. Consumo de agua potable período 2015 – 2018.

| Periodo | | m3 | Valor m3 | Valor pago* m3 |
|----------|-----------|------|----------|----------------|
| Mes | Año | | | |
| Ene-Feb | 2015 | 348 | \$ 1.421 | \$ 494.508 |
| Feb-Mar | 2015 | 346 | \$ 1.466 | \$ 507.250 |
| Mar-Abr | 2015 | 789 | \$ 1.466 | \$ 1.156.706 |
| Abr-May | 2015 | 789 | \$ 1.466 | \$ 1.156.706 |
| May-Jun | 2015 | 598 | \$ 1.466 | \$ 876.692 |
| Jun-Jul | 2015 | 536 | \$ 1.466 | \$ 785.797 |
| Jul-Agos | 2015 | 1664 | \$ 1.466 | \$ 2.439.491 |
| Agos-Sep | 2015 | 1005 | \$ 1.466 | \$ 1.473.370 |
| Sep-Oct | 2015 | 947 | \$ 1.466 | \$ 1.388.340 |
| Oct-Nov | 2015 | 525 | \$ 1.466 | \$ 769.671 |
| Nov-Dic | 2015 | 451 | \$ 1.466 | \$ 661.184 |
| Dic-Ene | 2015-2016 | 600 | \$ 1.515 | \$ 909.198 |
| Ene-Feb | 2016 | 612 | \$ 1.515 | \$ 927.382 |
| Feb-Mar | 2016 | 581 | \$ 1.515 | \$ 880.407 |
| Mar-Abr | 2016 | 532 | \$ 1.515 | \$ 806.156 |
| Abr-May | 2016 | 752 | \$ 1.515 | \$ 1.139.528 |
| May-Jun | 2016 | 639 | \$ 1.515 | \$ 968.296 |
| Jun-Jul | 2016 | 291 | \$ 1.515 | \$ 440.961 |
| Jul-Agos | 2016 | 262 | \$ 1.515 | \$ 397.016 |
| Agos-Sep | 2016 | 852 | \$ 1.698 | \$ 1.447.020 |
| Sep-Oct | 2016 | 522 | \$ 1.698 | \$ 886.554 |
| Oct-Nov | 2016 | 367 | \$ 1.698 | \$ 623.305 |
| Nov-Dic | 2016 | 418 | \$ 1.698 | \$ 709.923 |
| Dic-Ene | 2016-2017 | 233 | \$ 1.698 | \$ 395.723 |

| Periodo | | m3 | Valor m3 | Valor pago* m3 |
|----------|-----------|--------|----------|----------------|
| Mes | Año | | | |
| Ene-Feb | 2017 | 186 | \$ 1.758 | \$ 326.945 |
| Feb-Mar | 2017 | 500 | \$ 1.758 | \$ 878.885 |
| Mar-Abr | 2017 | 483 | \$ 1.813 | \$ 875.679 |
| Abr-May | 2017 | 337 | \$ 1.813 | \$ 610.981 |
| May-Jun | 2017 | 378 | \$ 1.752 | \$ 662.154 |
| Jun-Jul | 2017 | 245 | \$ 1.752 | \$ 429.174 |
| Jul-Agos | 2017 | 206 | \$ 1.752 | \$ 360.856 |
| Agos-Sep | 2017 | 851 | \$ 1.790 | \$ 1.523.103 |
| Sep-Oct | 2017 | 571 | \$ 1.790 | \$ 1.021.964 |
| Oct-Nov | 2017 | 670 | \$ 1.790 | \$ 1.199.153 |
| Nov-Dic | 2017 | 474 | \$ 1.790 | \$ 848.356 |
| Dic-Ene | 2017-2018 | 361 | \$ 1.790 | \$ 646.111 |
| Total | Promedio | 553,36 | \$ 1.612 | \$ 878.460 |

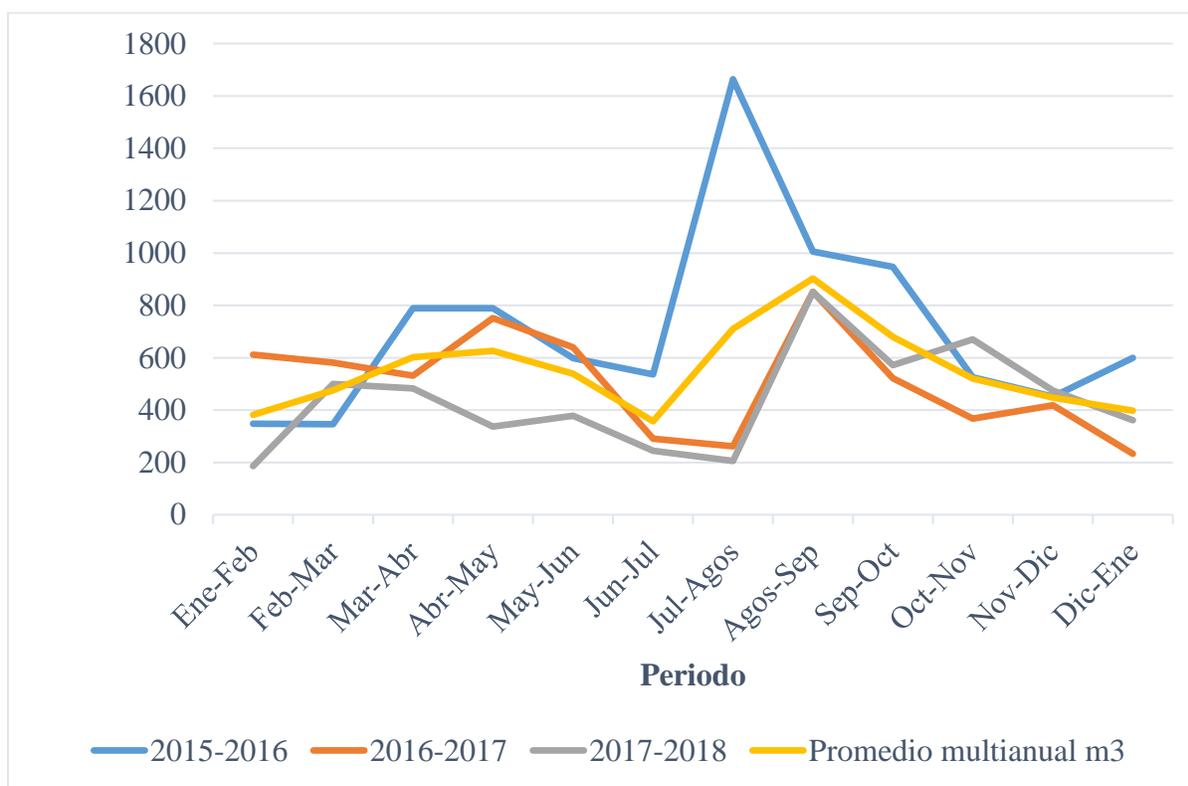
Se realizó un promedio de consumo por periodo en total con todos los demás, mostrado en el cuadro 46, el cual nos indica en su segunda columna el promedio por mes para los tres años tabulados, este cuadro muestra también el promedio de costos derivados del servicio de acueducto.

Cuadro 46. Promedio de consumo multi-mensual, durante los periodos 2015-2016, 2016-2017, 2017-2018.

| Periodo | | Promedio de costo del servicio |
|----------|------------------------|--------------------------------|
| Mes | Promedio multianual m3 | |
| Ene-Feb | 382,0 | \$ 582.945 |
| Feb-Mar | 475,7 | \$ 755.514 |
| Mar-Abr | 601,3 | \$ 946.180 |
| Abr-May | 626,0 | \$ 969.072 |
| May-Jun | 538,3 | \$ 835.714 |
| Jun-Jul | 357,3 | \$ 551.977 |
| Jul-Agos | 710,7 | \$ 1.065.788 |
| Agos-Sep | 902,7 | \$ 1.481.164 |
| Sep-Oct | 680,0 | \$ 1.098.953 |
| Oct-Nov | 520,7 | \$ 864.043 |
| Nov-Dic | 447,7 | \$ 739.821 |
| Dic-Ene | 398 | \$ 650.344 |
| Total | 553,4 | \$ 878.460 |

Como se puede evidenciar en las siguientes figuras, en el periodo julio-agosto en el 2015, fue el mayor consumo (1664m³), contemplando entre todos los datos que se jerarquizaron en el compilado de todos los datos, así mismo se puede denotar que entre septiembre y agosto son los periodos de mayor consumo en el plantel.

Los menores consumos se presentan entre los meses de diciembre a marzo, esto probablemente puede ser porque es el lapso más amplio, donde no se encuentran estudiantes, ni algunos administrativos, ni trabajadores de oficios varios. Así como también se puede evidenciar que entre junio y septiembre había una mayor demanda de agua que el resto de año; es posible que sea porque es la época más seca del año y se requiere de mayor consumo para el desarrollo continuo de las actividades.



Gráfica 11. Consumo de agua potable.

Para ser más claros se determinó los picos extremos de las precipitaciones que se presentaron durante un periodo de tiempo y el valor que cancelo la universidad por este servicio.

| Periodo 2015-2016 | | | Valor pago |
|-------------------|-------|----------|--------------|
| Consumo m3 | | Mes | |
| Máximo | 1664 | Jul-Agos | \$ 2.439.491 |
| Mínimo | 346 | Feb-Mar | \$ 507.250 |
| Promedio | 716,5 | | \$ 1.051.576 |

| Periodo 2016-2017 | | | Valor pago |
|-------------------|--------|----------|--------------|
| Consumo m3 | | Mes | |
| Máximo | 852 | Agos-Sep | \$ 1.447.020 |
| Mínimo | 233 | Dic-Ene | \$ 395.723 |
| Promedio | 505,08 | | \$ 801.856 |

| Periodo 2017-2018 | | | Valor pago |
|-------------------|-------|----------|--------------|
| Consumo m3 | | Mes | |
| Máximo | 851 | Agos-Sep | \$ 1.523.103 |
| Mínimo | 186 | Ene-Feb | \$ 326.945 |
| Promedio | 438,5 | | \$ 781.947 |

En general, en los años estudiados, los meses con mayor demanda de agua son entre agosto y septiembre, del cual podemos asumir que es un fenómeno presentado por las condiciones climáticas que se dan en la región, estos meses son de mucha sequía, por lo tanto, se presume que causa consumo de agua; el periodo mínimo de consumo es de diciembre y enero o, puesto que como se justificaba anteriormente, es una época donde no hay presencia de estudiantes y la universidad solo consume agua en riego de jardines y lo consumido por el personal administrativo.

| Periodo 2015-2016-2017-2018 | | | | Valor pago |
|-----------------------------|--------|----------|---------|--------------|
| Consumo m3 | | Mes | Año | |
| Máximo | 1664 | Jul-Agos | 2015 | \$ 2.439.491 |
| Mínimo | 186 | Ene-Feb | 2017 | \$ 326.945 |
| Promedio | 553,36 | | 1612,27 | \$ 878.460 |

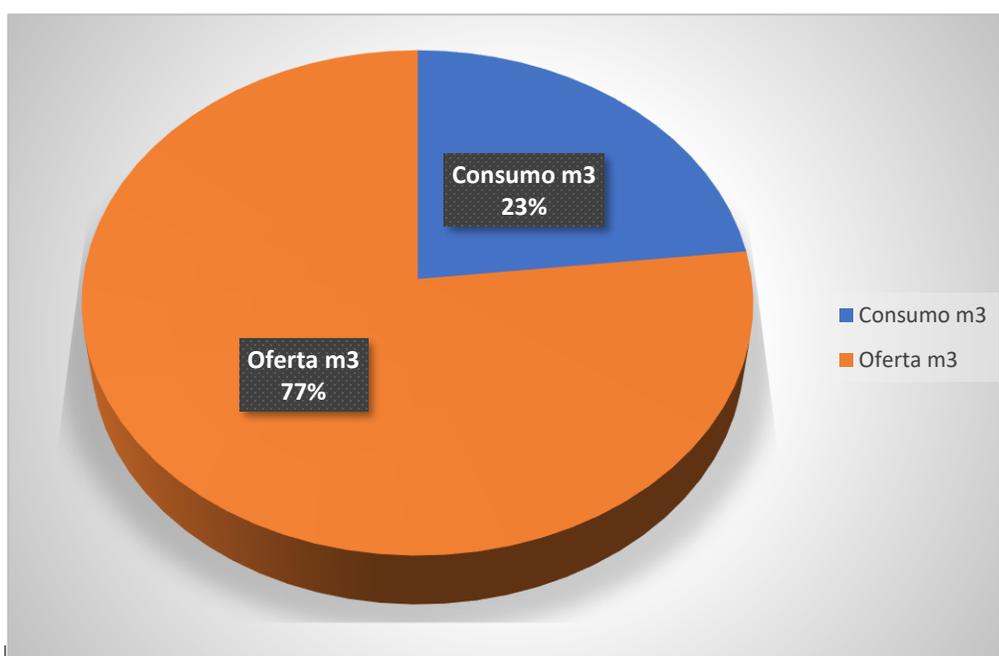
Analizando la teoría respecto a las condiciones climáticas que se presentan el bosque seco tropical y las de la cuenca alta del río Magdalena, se entiende que el sector presenta unas estaciones climáticas bimodales, es decir dos periodos de lluvia y un periodo de sequía marcado. Sin embargo, a esas condiciones se tienen en cuenta los fenómenos naturales como lo son la *niña* *se caracteriza por un aumento considerable de las precipitaciones (anomalías positivas) y una disminución de las temperaturas (anomalías negativas) en las regiones Andina* (Sistema de Información Ambiental de Colombia), región donde se encuentra ubicada la Ucundinamarca Seccional Girardot. Al calcular las curvas IDF con los registros pluviométricos, y estimar los caudales con el método racional, la lluvia de diseño obtenida nos arroja datos de

ofertas de precipitación favorables para la disminución de costos con la implementación del sistema de aprovechamiento propuesto, fundamentado y corroborado con las características hidrológicas de la región donde se plantea el proyecto.

En la siguiente figura se presenta una relación entre el consumo promedio en m³ entre los meses de diciembre-enero y junio-julio, meses en que no se encuentran los estudiantes, tampoco el personal administrativo y de apoyo, por lo que se presume que estos volúmenes son los

correspondientes al consumo en riego, ya que solo es esta actividad la que se realiza por parte del personal de vigilancia. Así que se realiza una relación entre estos promedios y el caudal ofertado por el sistema para evaluar el porcentaje de ahorro generado.

| Consumo promedio m3/mes | Días | m3/Día | Valor m3 |
|-------------------------------------|-----------|--------|---------------|
| 553,36 | 30 | 18,4 | \$ 33.017,147 |
| Caudal aguas lluvias de diseño m3/s | Horas*Día | m3/Día | Valor m3 |
| 0,01694 | 1 | 60,984 | \$ 109.161,4 |



Gráfica 12. Porcentaje de oferta y consumo.

El aprovechamiento del agua lluvia es una alternativa favorable para disminuir costos el pago del consumo de agua potable, como se puede observar en la figura, del 100% de agua que se puede coleccionar en un día de lluvia, tan solo el 23% representaría el consumo promedio de agua

para riego y lavado en promedio del plantel en un solo día, y teniendo en cuenta el caudal que aportaría un día de precipitación en el año frente al promedio de consumo anual de agua en el plantel, significa el 11,02% del porcentaje de ahorro de agua que se generaría.

7. CONCLUSIONES

Contrastando las características meteorológicas, climáticas del bosque seco tropical presentadas el municipio de Girardot, con los registros pluviométricos, se determinó que en la región hay periodos de lluvias donde la intensidad y la duración caracterizan sus aguaceros como lluvias fuertes, dando el fundamento técnico y la viabilidad económica para la ejecución del presente proyecto.

El aprovechamiento de aguas lluvias es una actividad que aporta significativamente dentro del funcionamiento interno de la Universidad de Cundinamarca Seccional Girardot, como una herramienta para el uso y ahorro eficiente de agua, ya que se está ahorrando por un día de precipitación en el año el 11,02% de agua, teniendo en cuenta que este valor es proporcional a los días de lluvia en el año, además este porcentaje de lluvia podría suplir hasta 4 días y medio la demanda de agua potable de la universidad para riego, lo cual es un proyecto viable que su compensación económica puede ser de mediano a largo plazo.

El área de captación de agua del proyecto se seleccionó de acuerdo con el porcentaje representativo de captación, siendo las áreas de las cubiertas del auditorio y el bloque educativo un sesenta por ciento de la representación total de los tejados de la seccional, también teniendo en cuenta su ubicación dentro del plantel y la mayor concentración de masa estudiantil, presentando esta la mejor alternativa para la aplicación del proyecto.

Se parte desde el periodo de retorno de cincuenta años para dar confiabilidad a los métodos estadísticos usados en la determinación de lluvia de diseño, ya que los periodos hidrológicos repiten su cota máxima de inundación y precipitación máxima cada veinticinco o 30 años.

Al tomar un periodo de retorno de 50 años se toma una probabilidad de $1/50 = 0.02$ de ocurrencia de un evento lluvioso que exceda el valor máximo calculado en las curvas IDF, del mismo modo, el valor de la intensidad depende del periodo de retorno y la duración estimada dentro de dicho calculo estadístico, es decir que al aumentar el tiempo de retorno la intensidad aumenta, mientras, la duración aumenta disminuye la intensidad, por ende es necesario investigar, indagar y documentarse acerca del periodo de retorno, y duración a tomar ya que de esto depende que el sistema diseñado se ajuste a las características hidrológicas de la región donde se plantea.

8. RECOMENDACIONES

El presente documento brinda información importante para otros proyectos de investigación orientados a realizar los cálculos hidrosanitarios del plantel para disposición del agua captada en lavados sanitarios y lavado del plantel, ya que la oferta de agua es amplia.

Se sugiere realizar dos horas de riego en la noche, y dos horas de riego en horas de la mañana, de manera que haya una mejor filtración en el suelo.

Debe ser relevante que el ejecutor del proyecto tenga en cuenta cada detalle de la formulación del sistema para que no sea alterada la viabilidad técnica-económica del mismo.

Mediante el presente diseño, se abren ideas de investigación como determinar la calidad del agua lluvia para consumo humano y un planteamiento de un programa de ahorro y uso eficiente de agua potable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo, R. M. (3 de 01 de 2005). El agua, recurso estratégico del siglo XXI. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 23(1). Recuperado el 03 de Mayo de 2017, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-386X2005000100009
- Arkiplus. (26 de julio de 2013). *Arkiplus*. Obtenido de <http://www.arkiplus.com/techos-a-dos-aguas-caracteristicas>
- arquinetpolis. (23 de agosto de 2017). *arquinetpolis*. Recuperado el 23 de agosto de 2017, de <http://arquinetpolis.com/sistemas-de-captacion-de-aguas-pluviales/>
- arquitectura.com, M. d. (s.f.). Tejas de plastico. Obtenido de <http://www.mundodearquitectura.com/las-tejas-de-platico-tejados-sin-mantenimiento.html>.
- Banco de la republica. (s.f.). Tejas de asbesto-cemento. *Tejas de asbesto-cemento*. Recuperado el 19 de agosto de 2017, de http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/arte/tejas_de_asbesto-cemento
- Banco de la republica. (s.f.). Tejas de barro. Recuperado el 19 de agosto de 2017, de http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/arte/teja_de_barro.
- CASTAÑEDA, N. P. (2010). *Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa maría auxiliadora de caldas, antioquia*. Universidad de antioquia, Medellin. Recuperado el 3 de Mayo de 2017, de

<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/1325/1/PropuestaSistemaAprovechamientoAguasLluvia.pdf>

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud. (2003). *unidad de apoyo tecnico para el saneamiento basico del area rural*. Recuperado el 03 de mayo de 2017, de

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cosude/i.pdf>

Colombia, C. P. (1991). *Constitución Política de Colombia*. Recuperado el 10 de octubre de 2015, de <http://www.constitucioncolombia.com/titulo-2/capitulo-3/articulo-79>

Congreso de Colombia. (30 de Diciembre de 1986). *Alcaldia Mayor de Bogotá*. Recuperado el 7 de Octubre de 2017, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=305>

Girardot, A. d. (s.f.). *ASOCIACIÓN MUNICIPAL DE JUNTAS DE ACCIÓN COMUNAL*.

Recuperado el 30 de abril de 2017, de <http://asojuntasgirardot.com/jac/ub/ubi.html>)

Girardot, D. d. (2015). *Alcaldia del Municipio de Girardot*. Recuperado el 15 de 04 de 2017, de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/girardotcundinamarcapd20122015p2.pdf>

Gobierno Colombiano. (18 de Diciembre de 1974). *Alcaldia Mayor de Bogota*. Recuperado el 7 de Octubre de 2017, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1551>

Greenpeace. (2010). *Agua. Greenpeace*. Obtenido de

<http://www.greenpeace.org/colombia/es/campanas/contaminacion/agua/>

Humboldt, Instituto Alexander von. (1998). *El Bosque seco Tropical en Colombia*. Recuperado el 23 de Marzo de 2017, de <http://media.utp.edu.co/ciebreg/archivos/bosque-seco-tropical/el-bosque-seco-tropical-en-colombia.pdf>

Instituto de Hidrologia, metereologia y estudios ambientales (IDEAM). (s.f.). *IDEAM*. Recuperado el 5 de MAYO de 2017, de <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario#P>

Julio. (21 de agosto de 2010). *Conciencia Eco*. Recuperado el 02 de mayo de 2017, de <http://www.concienciaeco.com/2010/08/21/que-es-el-calentamiento-global/>

Ley 99 (1993).

Luis lopez, A. S. (s.f.). *scrib*. Recuperado el 19 de agosto de 2017, de <https://es.scribd.com/presentation/271933793/Cubiertas-Metalicas>

Maestro. (s.f.). Recuperado el 19 de agosto de 2017, de <http://www.maestro.com.pe/hazlo-con-maestro/materiales/que-tipo-de-canaleta-y-bajada-existen>

Minambiente-DNP-UPA. (21 de Diciembre de 1994). Recuperado el 10 de Octubre de 2017, de crc.gov.co/files/.../POT/.../DOCUMENTO%20TECNICO%20DE%20SOPORTE.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (11 de Junio de 1997). *Google*. Recuperado el 7 de Octubre de 2016, de www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible e Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt. (2014). *El bosque seco tropical en Colombia*. (H. G. Camila Pizano, Ed.) Bogotá. Recuperado el 15 de Mayo de 2018, de <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9333>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (8 de Junio de 2017). *Alcaldía Mayor de Bogotá*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2017, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=71542>

Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 330*. Bogotá.

Oliveras, J. (4 de Noviembre de 2013). *HHidrojing*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2017, de <http://www.hidrojing.com/obtener-curvas-idf-parte/>

Organizacion Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2004). *GUÍA DE DISEÑO PARA CAPTACIÓN DEL AGUA LLUVIA*. Recuperado el 03 de mayo de 2017, de <http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%204%20Lluvia/Guia%20de%20dise%C3%B1o%20para%20captaci%C3%B3n%20del%20agua%20de%20lluvia.pdf>

Pizarro, R., Abarza, A., Morales, C., Calderón, R., Tápia, J., Garcia, P., & Córdoba, M. (2015). *Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales de Chile* (Vol. n°36). unesco. Recuperado el 05 de Mayo de 2015, de <http://eias.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/Manual%20Scalls%20Unesco%202015.pdf>

Reglamento tecnico para el sector de agua potable y saneamiento basico - RAS, Resolucion 0330 (08 de junio de 2017).

Republica de Colombia. (22 de Diciembre de 1993). *Consulta la norma*. Recuperado el 10 de octubre de 2016, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>

Sistema de Información Ambiental de Colombiana. (s.f.). Fenómenos del Niño y la Niña.

Obtenido de <http://capacitacion.siac.ideam.gov.co/SIAC/home/elnino.html>

Techos de metal. (Diciembre de 2012). *ARQHYS arquitectura*. Recuperado el 19 de agosto de 2017, de <http://www.arqhys.com/construccion/techos-metal.html>

Todo en techos. (s.f.). Recuperado el 13 de 06 de 2017, de

<http://todoentechos.com/producto/tejas-en-upvc-o-pvc-espumado/>

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2012). Obtenido de

http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf